

**FACULDADE DE ENGENHARIA DA UNIVERSIDADE DO PORTO**

# **Serviço de Visualização 3D Interativa em Ambiente Web de Simulações do Consumo Energético de Edifícios**

**Fábio Domingos da Silva Rodrigues**



Mestrado Integrado em Engenharia Informática e Computação

Orientador: Professor Doutor Rui Pedro Amaral Rodrigues

Fevereiro de 2014



© Fábio Rodrigues, 2014

# **Serviço de Visualização 3D Interativa em Ambiente Web de Simulações do Consumo Energético de Edifícios**

**Fábio Domingos da Silva Rodrigues**

Mestrado Integrado em Engenharia Informática e Computação

Aprovado em provas públicas pelo Júri:

Presidente: Professor Doutor José Manuel de Magalhães Cruz

Vogal Externo: Professor Doutor José Manuel de Castro Torres

Orientador: Professor Doutor Rui Pedro Amaral Rodrigues

---

14 de Fevereiro de 2014



# Resumo

À medida que a tecnologia se espalha pelo mundo como efeito colateral da globalização e novas tecnologias são criadas para satisfazer as necessidades crescentes população mundial, a energia gasta para manter toda esta tecnologia em funcionamento tem vindo a aumentar. Como forma de resposta a este crescimento no consumo de energia, empresas líderes de mercado, oferecem soluções no âmbito do consumo energético de edifícios, apresentando serviços de monitorização, auditoria e certificação energética de edifícios. Estes serviços utilizam ferramentas de simulação complexas de difícil compreensão por parte dos clientes, o que restringe a sua interação com os resultados.

Este documento apresenta uma visão geral de algumas tecnologias de simulação energética e tecnologias de visualização de modelos a três dimensões na web, que quando combinadas, abrem as portas à criação de ferramentas interativas de fácil utilização por parte dos clientes. São descritos alguns projetos que combinam estas tecnologias para disponibilizar ferramentas inovadoras e é apresentada uma solução desenvolvida em contexto empresarial que pretende modernizar e disponibilizar serviços de simulação energética através da internet possibilitando a interação com modelos 3D dos edifícios.

Como prova das funcionalidades do sistema desenvolvido, são definidos vários casos de teste que quando utilizados demonstram o potencial da solução apresentada não só no presente mas também em termos de desenvolvimento e aplicações futuras.

**Palavras-Chave:** Simulação Energética, Visualização 3D na Web, EnergyPlus, WebGL, Energia, Interfaces.



# Abstract

As technology spreads throughout the world as a side effect of globalization and new technologies are created to meet the growing needs of the global population, the energy expended to keep all this technology in operation has increased. As a response to this growth in energy consumption, market-leading companies offer solutions in the field of energy consumption in buildings, featuring services for monitoring, auditing and energy certification of buildings. These services utilize complex simulation tools, difficult to understand by customers, which restricts their interaction with the results.

This document presents an overview of some simulation technologies and technologies to display three-dimensional models on the web, which when combined, open the door to the creation of interactive tools that are easy to use by the customers. Some projects that combine these technologies, to provide innovative tools, are described and a solution developed in an enterprise context is presented, with the objective of modernizing and providing remote energy simulation services over the internet while allowing interaction with 3D models of the buildings.

As proof of the functionalities of the developed system, several test cases are defined that when applied show the potential of the presented solution not only in the present but also in terms of future development and applications.

**Keywords:** Energy Simulation, 3D Visualization on the Web, EnergyPlus, WebGL, Energy, Interfaces.





# Agradecimentos

Agradeço em primeiro lugar ao meu orientador Rui Rodrigues, pelas horas despendidas em reuniões e conversas pelo skype e pelas sugestões propostas que em muito contribuíram para a realização do projeto de dissertação que se apresenta neste documento.

Gostaria também de agradecer aos meus colegas da Smartwatt, SA, pelas sugestões dadas e críticas feitas ao longo do desenvolvimento da aplicação que me auxiliaram bastante nas tomadas de decisão e escolha do percurso a tomar ao longo da sua implementação.

Aproveito ainda para referir que o ambiente empresarial em que fui inserido, bem como a perspectiva de desenvolvimento de uma aplicação comercial tendo por base este trabalho de dissertação foram dois grandes fatores de motivação para a realização deste projeto.

Por fim agradeço também à minha família que suportou os custos associados aos estudos universitários e sem a qual eu não estaria aqui.

Fábio Rodrigues



# Conteúdo

<b>1</b>	<b>Introdução .....</b>	<b>1</b>
1.1	Motivação e Objetivos .....	2
1.2	Estrutura da Dissertação .....	3
<b>2</b>	<b>Trabalho Relacionado .....</b>	<b>5</b>
2.1	Ferramentas de Simulação Energética .....	5
2.1.1	DOE-2 .....	7
2.1.2	eQuest .....	9
2.1.3	BLAST .....	12
2.1.4	EnergyPlus .....	12
2.2	Tecnologias para Visualização 3D na Web .....	19
2.2.1	WebGL .....	20
2.2.2	Stage 3D .....	25
2.2.3	Silverlight .....	25
2.2.4	Unity 3D .....	26
2.2.5	Análise Comparativa das Tecnologias para Visualização 3D na Web Apresentadas ...	26
2.3	Frameworks e Bibliotecas para WebGL .....	27
2.3.1	Three.js .....	27
2.3.2	GLGE .....	28
2.3.3	SceneJS .....	28
2.3.4	CopperLicht .....	29
2.3.5	Análise Comparativa das Frameworks e Bibliotecas para WebGL Apresentadas .....	29
2.4	Plataformas Web com Visualizador e Simulador Incorporado .....	30
2.4.1	LearnHPB .....	30
2.4.2	eLAD .....	31
2.5	Tecnologias para a Plataforma Web .....	32
2.5.1	Tecnologias do Lado Servidor .....	32
2.5.2	Tecnologias do Lado Cliente .....	33
2.6	Tecnologias para a Plataforma de Gestão de Simulações .....	35

2.7	Resumo .....	36
<b>3</b>	<b>Identificação do Problema e Arquitetura Proposta .....</b>	<b>37</b>
3.1	Solução Atual para Auditorias e Certificações Energéticas de Edifícios.....	37
3.2	Software de Modelação 3D Utilizado pela Smartwatt .....	39
3.3	Solução Atual para Gestão e Monitorização Permanente do Consumo Energético de Edifícios .....	41
3.4	Problemas Inerentes das Soluções Atuais .....	42
3.5	Arquitetura da Solução .....	43
3.5.1	Protótipo Vertical e Prova de Conceito da Solução .....	43
3.5.2	Arquitetura da Solução para Disponibilização de Serviços através da Web.....	45
3.5.3	Desenho da Interface.....	49
3.6	Resumo .....	50
<b>4</b>	<b>Funcionamento Intrínseco do Sistema .....</b>	<b>51</b>
4.1	Aplicação Web.....	51
4.1.1	Principais Interfaces da Aplicação Web .....	52
4.1.2	Conversão de Ficheiros de Modelos de Edifícios.....	64
4.2	Plataforma de Gestão de Simulações no Servidor .....	65
4.2.1	Sistema de Ficheiros .....	65
4.2.2	Aplicação de Gestão de Simulações no Servidor .....	66
4.3	Base de Dados .....	71
4.4	Resumo .....	72
<b>5</b>	<b>Testes e Resultados.....</b>	<b>73</b>
5.1	Testes com Simulação Energética Simples .....	73
5.1.1	Descrição do Edifício e Parametização a Usar nos Casos de Teste.....	73
5.1.2	Testes à Parametização da Disponibilidade do Sistema de HVAC.....	74
5.1.3	Testes à Parametização de Setpoints de Aquecimento e Arrefecimento do Sistema de HVAC.....	77
5.2	Desempenho do Sistema .....	80
5.2.1	Medição dos FPS da Cena na Página de Visualização de Resultados.....	80
5.2.2	Tempo de Atendimento dos Pedidos Registrado na Plataforma Web.....	81
5.2.3	Desempenho da Aplicação de Gestão de Simulações .....	82
5.3	Resumo .....	85

<b>6 Conclusões e Trabalho Futuro .....</b>	<b>87</b>
6.1 Satisfação dos Objectivos.....	87
6.2 Trabalho Futuro.....	88
<b>7 Referências.....</b>	<b>89</b>
<b>Anexo A: Criação dos Casos de Teste .....</b>	<b>95</b>
8.1 Caso de Teste 1.....	95
8.2 Caso de Teste 2.....	96
8.3 Caso de Teste 3.....	96
8.4 Caso de Teste 4.....	97
8.5 Caso de Teste 5.....	99
8.6 Caso de Teste 6.....	100
<b>Anexo B: Interfaces da Aplicação .....</b>	<b>103</b>
9.1 Desenho do Visualizador Base.....	103
9.2 Descrição da Primeira Iteração do Design da Interface.....	104
9.3 Descrição da Segunda Iteração do Design da Interface.....	106
9.4 Descrição da Interface Implementada .....	111



# Lista de Figuras

<i>Figura 1: Parte de um relatório de simulação gerado tendo por base os resultados de uma simulação feita pelo DOE-2 [12].</i>	7
<i>Figura 2: Diagrama de fluxo do DOE-2 [11].</i>	8
<i>Figura 3: Assistente de criação de edifícios do eQUEST [14].</i>	10
<i>Figura 4: Assistente de medidas de eficiência energética do eQuest [14].</i>	10
<i>Figura 5: Relatório apresentado pelo eQUEST com resultados do consumo energético mensal [14].</i>	11
<i>Figura 6: Visão geral dos módulos constituintes do EnergyPlus[46].</i>	13
<i>Figura 7: Exemplo do conteúdo de um objecto IDF [56].</i>	14
<i>Figura 8: Interface do EP-Launch.</i>	15
<i>Figura 9: Comparação de dois conjuntos de resultados tabulares com recurso ao utilitário EP-Compare [20].</i>	16
<i>Figura 10: Arquitetura do funcionamento da ferramenta JESS [57].</i>	18
<i>Figura 11: Parte do formulário a preencher quando é utilizada a versão detalhada do EnergyPlus File Generator [59].</i>	19
<i>Figura 12: A Terra e Marte num dos exemplos disponibilizados pelo Khronos Group em WebGL [47].</i>	20
<i>Figura 13: Pipeline de renderização do WebGL [26].</i>	20
<i>Figura 14: Representação das cores no Vertex Shader e no Fragment Shader [26].</i>	21
<i>Figura 15: Interface da aplicação WebGL-Publisher.</i>	22
<i>Figura 16: Resultado do HTML da interface e de um modelo gerado pela aplicação importado para um browser.</i>	23
<i>Figura 17: Exemplo de aplicação criada com recurso ao projeto open-3d-viewer.</i>	24
<i>Figura 18: Interface da aplicação Zygote Body [50].</i>	24
<i>Figura 19: Objeto 3D desenvolvido em Silverlight 5 [33].</i>	25
<i>Figura 20: Modelo de um objeto no formato OBJ carregado com recurso a um dos utilitários disponíveis na framework Three.js.</i>	28
<i>Figura 21: Interface da plataforma LHPB com uma simulação de exemplo [21].</i>	31
<i>Figura 22: Interface da plataforma eLAD [24].</i>	32
<i>Figura 23: Menu Interativo criado com recurso à biblioteca dat.GUI na página de visualização resultados da aplicação web.</i>	35
<i>Figura 24: Solução atual da Smartwatt para realizar simulações energéticas de edifícios.</i>	38
<i>Figura 25: Criação de um modelo 3D a partir de um modelo 2D utilizando o SketchUp.</i>	40

<i>Figura 26: Preparação de uma simulação no Autodesk Ecotect.</i>	40
<i>Figura 27: Resultados de uma simulação apresentados na interface do DesignBuilder.</i>	41
<i>Figura 28: Interfaces e recursos disponíveis na plataforma web de gestão e monitorização permanente da Smartwatt.</i>	42
<i>Figura 29: Diagrama geral da solução.</i>	45
<i>Figura 30: Bloco de Pré-Processamento.</i>	46
<i>Figura 31: Funcionamento da plataforma 3DMM quando um utilizador pretende iniciar uma nova simulação.</i>	47
<i>Figura 32: Funcionamento da plataforma 3DMM quando é recebido um pedido de simulação.</i>	47
<i>Figura 33: Funcionamento pretendido da plataforma 3DMM quando é recebido um pedido de monitorização.</i>	48
<i>Figura 34: Mapa do site da aplicação web implementada.</i>	52
<i>Figura 35: Página de parametrização de novas simulações.</i>	55
<i>Figura 36: Possível interface da janela modal para definir horários de disponibilidade do sistema de HVAC.</i>	56
<i>Figura 37: Interface da página de visualização do estado das simulações na fila.</i>	58
<i>Figura 38: Interface da página de visualização da lista de simulações completas.</i>	59
<i>Figura 39: Interface da página de visualização de resultados.</i>	61
<i>Figura 40: Gráfico de linhas gerado para as temperaturas esperadas das zonas.</i>	63
<i>Figura 41: Gráfico de barras gerado para os gastos de eletricidade verificados mensalmente ao longo do ano.</i>	63
<i>Figura 42: Vista em árvore simplificada do conteúdo do sistema de ficheiros depois de efetuadas duas simulações.</i>	65
<i>Figura 43: Diagrama UML de classes da aplicação de gestão de simulações no servidor.</i>	66
<i>Figura 44: Conteúdo da consola apresentado quando a aplicação de gestão de simulações é lançada.</i>	70
<i>Figura 45: Conteúdo da consola apresentado quando um pedido é concluído na aplicação de gestão de simulações.</i>	70
<i>Figura 46: Modelo do edifício do caso de teste 1 renderizado no visualizador de resultados.</i>	75
<i>Figura 47: Modelo do edifício do caso de teste 2 renderizado no visualizador de resultados.</i>	75
<i>Figura 48: Modelo do edifício do caso de teste 3 renderizado no visualizador de resultados.</i>	75
<i>Figura 49: Gráfico de variação horária da temperatura das zonas no caso de teste 1.</i>	76
<i>Figura 50: Gráfico de variação horária da temperatura das zonas no caso de teste 2.</i>	76
<i>Figura 51: Gráfico de variação horária da temperatura das zonas no caso de teste 3.</i>	77
<i>Figura 52: Gráfico de variação horária da temperatura da zona condicionada e de uma zona não condicionada no caso de teste 4.</i>	78
<i>Figura 53: Gráfico de variação horária da temperatura da zona condicionada e de uma zona não condicionada no caso de teste 5.</i>	79
<i>Figura 54: Gráfico de variação horária da temperatura da zona condicionada e de uma zona não condicionada no caso de teste 6.</i>	79



<i>Figura 55: Widged de medição de desempenho disponibilizada pela biblioteca three.js.</i>	80
<i>Figura 56: Parte do conteúdo do ficheiro log.txt.</i>	82
<i>Figura 57: Conteúdo da janela modal de definição do estado de disponibilidade do sistema de HVAC para o caso de teste 3.</i>	97
<i>Figura 58: Conteúdo da janela modal de definição dos setpoints de aquecimento do sistema de HVAC para o caso de teste 4.</i>	98
<i>Figura 59: Conteúdo da janela modal de definição dos setpoints de arrefecimento do sistema de HVAC para o caso de teste 4.</i>	99
<i>Figura 60: Conteúdo da janela modal de definição dos setpoints de aquecimento do sistema de HVAC para o caso de teste 5.</i>	100
<i>Figura 61: Conteúdo da janela modal de definição dos setpoints de arrefecimento do sistema de HVAC para o caso de teste 5.</i>	100
<i>Figura 62: Conteúdo da janela modal de definição dos setpoints de aquecimento do sistema de HVAC para o caso de teste 6.</i>	102
<i>Figura 63: Conteúdo da janela modal de definição dos setpoints de arrefecimento do sistema de HVAC para o caso de teste 6.</i>	102
<i>Figura 64: Primeira versão do visualizador de modelos 3D no browser.</i>	103
<i>Figura 65: Interface da página home na primeira iteração do design da interface.</i>	104
<i>Figura 66: Interface da página simulation processing manager na primeira iteração do design da interface.</i>	105
<i>Figura 67: Interface da página simulation manager na primeira iteração do design da interface.</i>	105
<i>Figura 68: Interface da página simulations progress na primeira iteração do design da interface.</i>	106
<i>Figura 69: Interface da página home na segunda iteração do design da interface.</i>	107
<i>Figura 70: Interface da página simulation processing manager na segunda iteração do design da interface.</i>	107
<i>Figura 71: Interface da página building selection na segunda iteração do design da interface.</i>	108
<i>Figura 72: Interface da página simulation manager na segunda iteração do design da interface.</i>	108
<i>Figura 73: Interface da página simulations progress na segunda iteração do design da interface.</i>	109
<i>Figura 74: Interface da página completed simulations na segunda iteração do design da interface.</i>	109
<i>Figura 75: Interface da página result viewer na segunda iteração do design da interface.</i>	110
<i>Figura 76: Interface da página desenhada para fazer a seleção de edifícios a monitorizar e a visualização de registos de monitorizações anteriores.</i>	110
<i>Figura 77: Interface da página desenhada para efetuar a monitorização de edifícios.</i>	111
<i>Figura 78: Interface da página home na aplicação web.</i>	112
<i>Figura 79: Interface da página simulation processing manager na aplicação web.</i>	112
<i>Figura 80: Ecrã da animação de carregamento usada em várias páginas.</i>	113
<i>Figura 81: Interface da página building selection na aplicação web.</i>	113
<i>Figura 82: Interface da página simulation manager com o edifício real modelado pela Smartwatt.</i>	114

<i>Figura 83: Interface inicial da janela modal de parametrização do horário de setpoints de disponibilidade do sistema de HVAC.....</i>	<i>115</i>
<i>Figura 84: Interface inicial da janela modal de parametrização do horário de setpoints de aquecimento do sistema de HVAC.....</i>	<i>116</i>
<i>Figura 85: Interface inicial da janela modal de parametrização do horário de setpoints de arrefecimento do sistema de HVAC.....</i>	<i>117</i>
<i>Figura 86: Interface da página simulation manager quando um pedido é adicionado à base de dados com sucesso.....</i>	<i>118</i>
<i>Figura 87: Interface da página simulation manager quando um pedido é adicionado à base de dados sem sucesso.....</i>	<i>119</i>
<i>Figura 88: Interface da página simulation manager com 3 pedidos feitos na sessão atual. ....</i>	<i>120</i>
<i>Figura 89: Interface da página simulations progress. ....</i>	<i>121</i>
<i>Figura 90: Interface da página completed simulations da aplicação web. ....</i>	<i>121</i>
<i>Figura 91: Parte inicial de um relatório da simulação energética em formato html visto no browser. ...</i>	<i>122</i>
<i>Figura 92: Conteúdo da pasta zip com os ficheiros resultantes da simulação. ....</i>	<i>122</i>
<i>Figura 93: Interface da página de visualização de resultados em modo advanced. ....</i>	<i>123</i>
<i>Figura 94: Interface da página de visualização de resultados em modo simple. ....</i>	<i>124</i>
<i>Figura 95: Interface do gráfico de linhas gerado para a variável de relatório e restantes parâmetros seleccionados na Figura 93 quando utilizador clica na opção “Hourly” da secção “Plots”. ....</i>	<i>124</i>
<i>Figura 96: Gráfico de barras gerado para a variável de relatório de contagem mensal e restantes parâmetros seleccionados na Figura 93 ao longo do ano quando o utilizador clica na opção “Monthly” da secção “Plots”.....</i>	<i>125</i>

# Lista de Tabelas

<i>Tabela 1: Tipos de ferramentas de análise energética de edifícios genéricos [9].</i>	6
<i>Tabela 2: Pontos fortes e pontos fracos do DOE-2 [9].</i>	9
<i>Tabela 3: Pontos fortes e pontos fracos do eQUEST [15].</i>	11
<i>Tabela 4: Pontos fortes e pontos fracos do BLAST [9].</i>	12
<i>Tabela 5: Ficheiros utilizados como dados de entrada pelo EnergyPlus[19].</i>	13
<i>Tabela 6: Ficheiros de saída do EnergyPlus [19].</i>	14
<i>Tabela 7: Pontos fortes e pontos fracos do EnergyPlus [9].</i>	17
<i>Tabela 8: Frameworks e bibliotecas para o Stage3D [28].</i>	25
<i>Tabela 9: Análise comparativa de tecnologias para visualização 3D na web.</i>	26
<i>Tabela 10: Comparação de alguns atributos associados às frameworks em análise.</i>	29
<i>Tabela 11: Descrição dos casos de teste 1, 2 e 3.</i>	74
<i>Tabela 12: Descrição dos casos de teste 4, 5 e 6.</i>	78
<i>Tabela 13: Valores dos FPS registados durante a utilização da aplicação web para cada modelo.</i>	81
<i>Tabela 14: Tempos registados para cinco simulações utilizando o edifício “casa”.</i>	81
<i>Tabela 15: Tempos registados para cinco simulações utilizando o edifício “hotel”.</i>	82
<i>Tabela 16: Tempos de CPU registados em segundos para cada etapa da aplicação de gestão de simulações para as simulações do edifício “casa”.</i>	83
<i>Tabela 17: Tempos de CPU registados em segundos para cada etapa da aplicação de gestão de simulações para as simulações do edifício “hotel”.</i>	84



# Lista de Algoritmos

<i>Algoritmo 1: Algoritmo geral da aplicação de gestão de simulações. ....</i>	<i>68</i>
<i>Algoritmo 2: Algoritmo de leitura e alteração de parâmetros energéticos utilizando ficheiros IDF. ....</i>	<i>69</i>



# Abreviaturas e Símbolos

ADENE	Agência Para a Energia
AJAX	Asynchronous JavaScript and XML
API	Application Programming Interface
ASP	Active Server Pages
BDL	Building Description Language
BLAST	Building Loads Analysis and System Thermodynamics
CAD	Computer Aided Design
CPU	Central Processing Unit
CSS	Cascading Style Sheets
DOE	Department Of Energy
DOM	Document Object Model
DXF	Drawing Exchange Format
EEM	Energy Efficiency Measure
eLAD	eLearning for Lighting and Daylighting
EPW	EnergyPlus Weather File
FBX	Filmbox
FPS	Frames Per Second
GLSL	OpenGL Shading Language
GUI	Graphical User Interface
HTML	HyperText Markup Language
HTTP	HyperText Transfer Protocol
HVAC	Heating, Ventilation and Air Conditioning
IDD	Input Data Dictionary
IDF	Input Data File
IGES	Initial Graphics Exchange Specification
LearnHPB	Learn High Performance Buildings
OBJ	Wavefront Object File Format
PBCS	Problem-Based Case Study
PHP	HyperText Preprocessor / Personal Home Page
RAM	Random Access Memory
SGBD	Sistema de Gestão de Base de Dados

STEP	Standard for the Exchange of Product Model Data
STL	Standard Template Library
SVG	Scalable Vector Graphics
VBO	Vertex Buffer Object
W3C	World Wide Web Consortium
WPM	WebGL Publisher Model
ZIP	Compressed File Format



## Capítulo 1

# Introdução

De acordo com um relatório de 18 de Abril de 2013 da Comissão Europeia para o Parlamento Europeu [1], quase 40% do consumo de energia nos países membros da união é feito em edifícios, existindo um grande potencial para diminuir esse mesmo consumo energético. Contudo, as características dos edifícios variam de forma significativa de país para país e, mesmo dentro do mesmo país é possível identificar variações significativas na composição e construção de edifícios de região para região. Assim, não é possível utilizar abordagens gerais que se adaptem a todos os casos. A eficiência energética em edifícios é portanto um assunto que merece atenção no contexto do consumo energético e na tentativa de diminuir este consumo o máximo possível.

A Smartwatt é uma empresa que fornece aos seus clientes um conjunto de serviços de simulação, gestão e monitorização do comportamento energético de edifícios. Para fazer a simulação energética de um edifício é utilizado *software* de modelação 2D como o AutoCAD<sup>1</sup>, software de modelação 3D como o SketchUp [2], o Ecotect [3] e o DesignBuilder [4], bem como um software de simulação energética chamado EnergyPlus. O sistema existente para efetuar a gestão e monitorização do comportamento energético de edifícios baseia-se numa plataforma web que disponibiliza os valores atuais de diversos parâmetros energéticos do edifício, obtidos com o auxílio de equipamentos de monitorização permanente colocados no local. Contudo, o *software* de simulação energética utilizado requer um técnico especializado para realizar a parametrização, simulação e tratamento de resultados de forma a apresentar ao cliente um relatório de fácil interpretação.

Devido ao facto de não existirem atualmente soluções acessíveis que integram a visualização de edifícios em 3D e a interação com os resultados de simulações energéticas na web, identificou-se uma necessidade de desenvolver um sistema capaz de englobar ambas as funcionalidades. Este documento especifica a solução proposta para o sistema referido e

---

<sup>1</sup> Link do programa: <http://www.autodesk.com/products/autodesk-autocad/overview>

## Introdução

apresenta uma prova de conceito que se foca na visualização, parametrização, simulação e tratamento de resultados de simulações energéticas remotas de edifícios. O sistema divide-se entre uma plataforma web e uma plataforma de gestão de simulações que corre num servidor. A primeira utiliza tecnologias como o jQuery e o WebGL para criar páginas web dinâmicas e interativas com os modelos dos edifícios bem como técnicas AJAX para carregar dados, obter informação da base de dados e apresentar resultados de simulações de forma assíncrona sem interromper as ações do utilizador. Já a segunda implementa uma lógica de processamento das simulações, nomeadamente a leitura de parametrizações energéticas da base de dados, execução das simulações com recurso ao simulador energético EnergyPlus e tratamento de resultados a ser enviados para a aplicação web.

### 1.1 Motivação e Objetivos

Os objetivos desta dissertação dividem-se em duas grandes componentes. A primeira componente tem o objetivo de criar um serviço web que permita realizar simulações remotas e efetuar a monitorização em tempo real do consumo energético de edifícios numa plataforma distribuída que permita efetuar um avanço na área dos serviços de simulação energética. A segunda componente da dissertação corresponde ao estudo e desenho da interface da plataforma web do sistema desenvolvido. Os objetivos deste projeto são assim:

#### 1. *Disponibilizar um serviço web que permita:*

- Visualizar no *browser* modelos 3D dos edifícios a simular;
- Alterar parâmetros de simulação e executar simulações energéticas *online* de forma remota;
- Visualizar graficamente os resultados de simulações *online* e *on-demand* associados ao modelo 3D do edifício;
- Suportar dados de entrada como por exemplo medições de consumo de sistemas de monitorização permanente colocados em edifícios.

#### 2. *Realizar o estudo e desenho da interface da plataforma web desenvolvida:*

- Realizar um *design* inicial da plataforma;
- Melhorar progressivamente o *design* da interface conforme os problemas detetados.

## **1.2 Estrutura da Dissertação**

Para além da introdução, esta dissertação contém mais cinco capítulos e dois anexos. No capítulo 2, é feita a revisão bibliográfica e descrito o estado da arte das ferramentas de simulação energética de edifícios e das ferramentas visualização de modelos 3D na web. São ainda apresentados trabalhos relacionados com o projeto bem como as principais tecnologias utilizadas na implementação da prova de conceito. No capítulo 3 é descrito, de forma mais pormenorizada, o problema a resolver e a arquitetura da solução desenvolvida, na qual se incluem o desenvolvimento do sistema proposto e o respetivo desenho da interface. No capítulo 4 são descritos os detalhes de implementação do sistema o qual se divide em 3 componentes constituintes: a plataforma web, a plataforma de gestão de simulações no servidor e a base de dados. No capítulo 5 definem-se casos de teste e são analisados os resultados obtidos ao aplicar os casos de teste definidos ao sistema implementado de modo a provar o seu funcionamento correto. É feita também uma análise ao desempenho do sistema. O capítulo 6 contém as conclusões e o trabalho a desenvolver futuramente, nomeadamente a satisfação dos objetivos iniciais da dissertação, potenciais aplicações e problemas do sistema desenvolvido. Ao capítulo 6 seguem-se as referências utilizadas para escrever este documento bem como os anexos. O anexo A contém os passos a seguir para reproduzir os casos de teste utilizados no capítulo 5 para testar o sistema implementado. O anexo B contém as várias iterações do desenho da interface da aplicação web.



## Capítulo 2

# Trabalho Relacionado

Este capítulo tem como objetivo listar um conjunto de projetos e trabalhos relacionados com o projeto desenvolvido nesta dissertação, mostrando o que existe no mesmo domínio e quais são os problemas em aberto e por resolver. Este capítulo apresenta ainda as tecnologias utilizadas na implementação do sistema desenvolvido.

A secção 2.1 apresenta vários simuladores energéticos disponíveis bem como os pontos fortes e fracos de cada um. Já a secção 2.2 descreve as principais tecnologias que permitem visualizar modelos 3D na web, dando-se especial relevância ao WebGL. Dentro desta secção são ainda descritos alguns visualizadores de modelos 3D na web que utilizam WebGL. A secção 2.3 descreve quatro das bibliotecas existentes para WebGL e apresenta a justificação da escolha da biblioteca utilizada na implementação do sistema desenvolvido. A secção 2.4 descreve duas plataformas web que incorporam um visualizador 3D, que recorre a WebGL para fazer a renderização da cena bem como a ferramentas de simulação energética para apresentar de forma interativa resultados de simulações. A secção 2.5 descreve as tecnologias utilizadas na implementação da plataforma web. Finalmente a secção 2.6 descreve as tecnologias utilizadas para implementar a plataforma de gestão de simulações no servidor e a secção 2.7 apresenta um resumo do capítulo.

### 2.1 Ferramentas de Simulação Energética

Uma ferramenta de simulação energética é um programa ou conjunto de programas que permite obter valores do consumo energético esperado para um edifício a partir dos diversos parâmetros energéticos que lhe estão associados. De acordo com [9] a maior parte das ferramentas de análise energética pode ser classificada como pertencendo a um de quatro tipos genéricos, como descrito na Tabela 1.

## Trabalho Relacionado

*Tabela 1: Tipos de ferramentas de análise energética de edifícios genéricos [9].*

Tipo de Ferramenta	Descrição	Exemplos
Screening Tools (Ferramentas de Triagem)	Usadas normalmente durante a definição do orçamento, estas ferramentas são desenhadas para avaliar a viabilidade de um projeto durante as primeiras fases de planeamento e incluem normalmente alguma capacidade de análise económica.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• FRESA</li> <li>• FEDS</li> </ul>
Architectural Design Tools (Ferramentas de Desenho da Arquitetura)	Usadas principalmente durante a fase de desenvolvimento do planeamento, esquemas e design de uma nova construção ou no melhoramento de um edifício, estas ferramentas têm como objetivo avaliar a importância relativa de decisões de design como por exemplo a orientação do edifício.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Building Design Advisor</li> <li>• Energy Scheming</li> </ul>
Load Calculation and HVAC Sizing Tools (Ferramentas de Cálculo da Carga e Dimensionamento do Sistema de HVAC)	Usadas principalmente durante o desenvolvimento do design e documentação da nova construção ou melhoramento de um edifício, estas ferramentas têm o objetivo de ajudar a escolher equipamento tal como caldeiras e sistemas de refrigeração. A maior parte destas ferramentas inclui módulos que permitem realizar simulações de consumos anuais de energia.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• HAP</li> <li>• TRACE</li> <li>• DOE-2</li> <li>• BLAST</li> <li>• eQUEST</li> <li>• EnergyPlus</li> </ul>
Economic Assessment Tools (Ferramentas de Avaliação Económica)	Usadas ao longo de todo o processo de design, estas ferramentas fornecem uma análise económica global dos investimentos de capital propostos para o edifício.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• BLCC</li> <li>• Quick BLCC</li> </ul>

Nas secções seguintes são descritas, com algum detalhe, as ferramentas que contribuíram para o desenvolvimento do software de simulação utilizado pela Smartwatt, bem como o próprio EnergyPlus. O estudo destes simuladores energéticos, especialmente da secção 2.1.4 relativa ao EnergyPlus, permite perceber alguns dos detalhes aos quais é necessário ter atenção de modo a poder perceber o funcionamento do sistema desenvolvido.

### 2.1.1 DOE-2

O DOE-2 é um programa de simulação gratuito<sup>2</sup> sem interface gráfica, que calcula o consumo de energia horário e os custos de energia de edifícios comerciais e residenciais dada informação acerca do clima do edifício, da sua construção, operação, cronograma de utilização e equipamento de aquecimento, ventilação e ar condicionado (HVAC) [10]. O programa devolve vários ficheiros de saída cuja informação é agrupada em relatórios como o da Figura 1. O DOE-2 foi escrito em Fortran e pode ser usado numa grande variedade de computadores [11]. Através da sua utilização, os *designers* podem determinar rapidamente a escolha de parâmetros de um edifício que aumentam a sua eficiência energética ao mesmo tempo que se mantém o conforto térmico. Um utilizador pode fornecer uma descrição simples ou detalhada do *design* de um edifício ou opções de *design* alternativas, e obter uma estimativa precisa do consumo de energia do edifício, condições ambientais interiores e custos de operação energética [11]. O principal objetivo do DOE-2 é assim auxiliar a análise do uso de energia em edifícios, não tendo a intenção de ser a única fonte de informação para fazer o *design* de edifícios. O discernimento dos arquitetos e engenheiros continua a ser o elemento mais importante na fase de *design* [11].

Annual Energy Use Detailed Results - Example Office Building												
15 September 1998 (page 1 of 3)												
	Ambient Lights kWh	Misc Eq. kWh	SHW Therms	Annual HVAC Energy					Annual Energy Total			
				Heating kWh	Cooling kWh	Fans kWh	Twr Fans kWh	Pumps kWh	Nat Gas Therms	Elect kWh	Total Site Mbtu	Total Source Mbtu
Annual Energy Use												
0 Base Case	166,854	48,526	0	0	108,632	26,050	1,171	44,540	5,860	395,573	1,936	4,636
1 0+3' Overhang	166,854	48,526	0	0	83,393	20,734	809	36,650	4,800	356,766	1,698	4,133
2 1+6' Overhang	166,854	48,526	0	0	71,077	18,338	682	31,625	4,070	336,902	1,557	3,857
3 2+Reduced LPD	133,324	48,526	0	0	65,068	16,357	605	29,841	4,500	293,720	1,452	3,457
4 3+Daylighting	84,042	48,526	0	0	55,513	14,648	468	26,291	5,020	229,488	1,285	2,852
5 4+0.6 kW/ton Chiller	84,042	48,526	0	0	34,663	14,648	403	25,227	5,020	207,509	1,210	2,627
Incremental Savings (negative entries indicate increased use)												
1 0+3' Overhang	0	0	0	0	25,239	5,316	362	7,890	1,060	38,807	238	503
2 1+6' Overhang	0	0	0	0	12,316	2,396	127	5,025	730	19,864	141	276
3 2+Reduced LPD	33,330	0	0	0	6,009	1,981	77	1,784	(430)	43,182	104	399
4 3+Daylighting	49,282	0	0	0	9,555	1,709	137	3,550	(520)	64,232	167	606
5 4+0.6 kW/ton Chiller	0	0	0	0	20,850	0	65	1,064	0	21,979	75	225
Cumulative Savings (relative to Case 0, negative entries indicate increased use)												
1 0+3' Overhang	0	0	0	0	25,239	5,316	362	7,890	1,060	38,807	238	503
2 1+6' Overhang	0	0	0	0	37,555	7,712	489	12,915	1,790	58,671	379	780
3 2+Reduced LPD	33,330	0	0	0	43,564	9,693	566	14,699	1,360	101,853	484	1,179
4 3+Daylighting	82,612	0	0	0	53,119	11,402	703	18,249	840	166,085	651	1,785
5 4+0.6 kW/ton Chiller	82,612	0	0	0	73,969	11,402	768	19,313	840	188,064	726	2,010

Figura 1: Parte de um relatório de simulação gerado tendo por base os resultados de uma simulação feita pelo DOE-2 [12].

O DOE-2 divide-se em vários elementos que permitem obter resultados de simulações a partir de dados fornecidos pelo utilizador, informação acerca do tempo e da descrição do edifício. A Figura 2 especifica o diagrama de fluxo de informação ao longo dos módulos que integram o DOE-2.

<sup>2</sup> Do Inglês: Freeware.

## Trabalho Relacionado

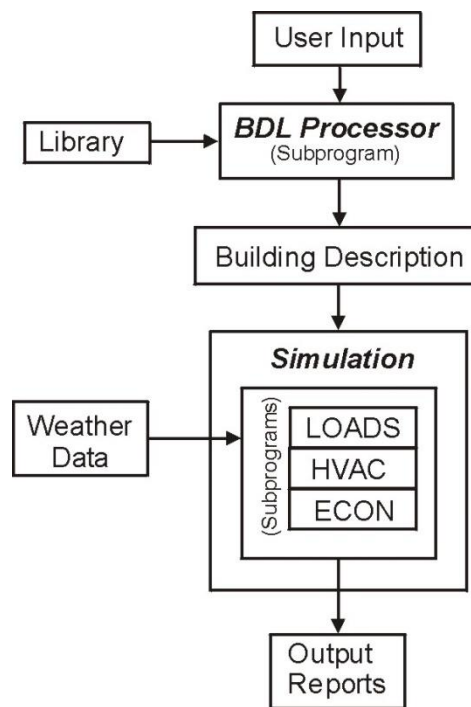


Figura 2: Diagrama de fluxo do DOE-2 [11].

O processador BDL (*Building Description Language*) lê os dados de entrada disponibilizados pelo utilizador e traduz estes dados numa forma reconhecida pelo computador. Também calcula os fatores de resposta para o fluxo de calor que passa através das paredes e os fatores de ponderação para a resposta térmica dos espaços do edifício [11].

O módulo LOADS é um subprograma de simulação que calcula os componentes sensíveis e latentes da carga horária de aquecimento e arrefecimento para cada espaço do edifício, assumindo que cada espaço é mantido a uma temperatura constante, especificada pelo utilizador. O módulo é sensível às condições meteorológicas e solares, eletricidade e equipamento, infiltrações, transferência de calor entre paredes, tetos e janelas e o efeito de sombras do edifício e radiação solar [11].

O módulo HVAC divide-se em dois subprogramas: o SYSTEMS, que lida com sistemas secundários e o PLANT que lida com sistemas primários. O subprograma SYSTEMS calcula o desempenho do equipamento de ventilação tal como ventoinhas e condutas. Os dados de saída deste subprograma consistem em informação acerca da carga dos sistemas de fluxo de ar presentes no edifício. O subprograma PLANT calcula o comportamento de torres de arrefecimento, caldeiras, tanques de armazenamento entre outros, permitindo auferir as exigências do edifício em termos de combustível e iluminação [11].

O módulo ECON é um subprograma que calcula o custo da energia. Também pode ser usado para comparar os custos-benefícios de diferentes *designs* de edifícios ou para calcular poupanças que podem ser alcançadas num edifício existente [11].



## Trabalho Relacionado

O ficheiro com a informação meteorológica de uma localidade é composto por valores horários da temperatura exterior, pressão atmosférica, velocidade e direção do vento, cobertura das nuvens e, em alguns casos, radiação solar [11].

A biblioteca<sup>3</sup> (*library*), no esquema da Figura 2, consiste num conjunto de elementos de entrada de um edifício, incluindo materiais de paredes, construções de paredes em camadas e janelas [11].

O DOE-2 é portanto um programa aplicado em contextos que envolvem a construção de edifícios, sistemas de HVAC e seleção de alternativas para conservar energia, nomeadamente em estudos de conservação de energia e em estudos do *design* de edifícios. A Tabela 2 resume os pontos fortes e os pontos fracos do DOE-2.

*Tabela 2: Pontos fortes e pontos fracos do DOE-2 [9].*

Pontos Fortes	Pontos Fracos
<ul style="list-style-type: none"><li>Análise horária detalhada do consumo energético de múltiplas zonas em edifícios com um design complexo.</li><li>Padrão<sup>4</sup> largamente reconhecido.</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>Requer um alto nível de conhecimento e literacia de informática por parte do utilizador.</li></ul>

### 2.1.2 eQuest

O eQUEST é um programa gratuito de fácil utilização que se caracteriza como uma ferramenta de análise energética de edifícios que fornece resultados de nível profissional com um nível acessível de esforço. O eQUEST foi desenhado como uma implementação interativa do DOE-2, para o sistema operativo Windows, com o objetivo de simplificar a utilização do simulador, o que permite aos seus utilizadores realizar análises detalhadas das tecnologias de *design* de edifícios, utilizando técnicas de simulação energética sofisticadas, sem que o mesmo tenha de possuir uma vasta experiência na modelação do desempenho energético de edifícios [13].

---

<sup>3</sup> Do Inglês: Library.

<sup>4</sup> Do Inglês: Standard.

## Trabalho Relacionado

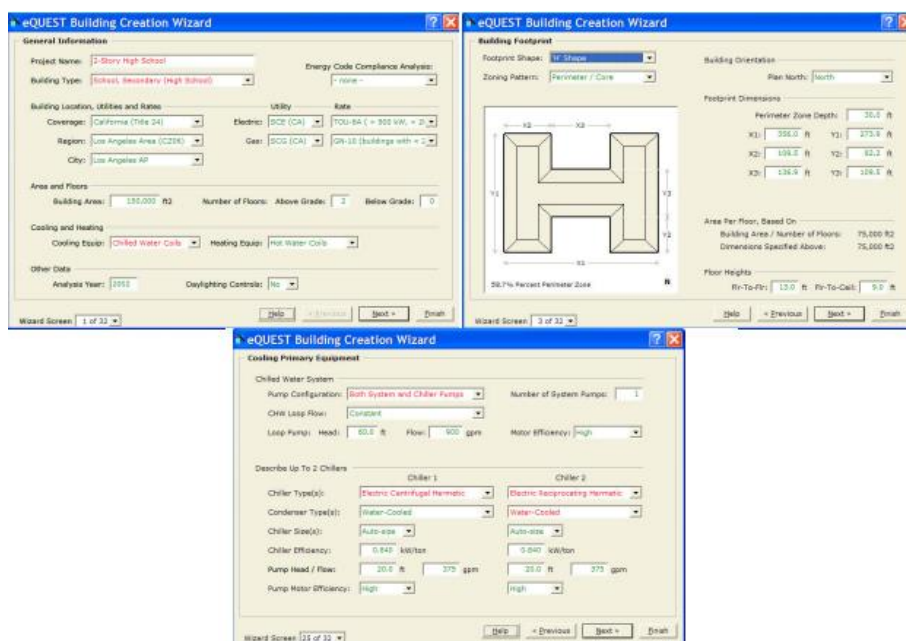


Figura 3: Assistente<sup>5</sup> de criação de edifícios do eQUEST [14].

A ferramenta combina um conjunto de interfaces a que se dá o nome de assistentes para permitir ao utilizador realizar simulações energéticas de forma intuitiva. O conjunto de interfaces utilizadas é composto por um assistente para fazer a criação de edifícios que pode ser visto na Figura 3, um assistente para a medida da eficiência energética, apresentado na Figura 4 e relatórios gráficos, mostrados na Figura 5. O motor de simulação energética da plataforma é derivado da versão mais recente do simulador DOE-2. Os valores a vermelho na Figura 3 e Figura 4 representam dados de entrada definidos pelo do utilizador enquanto os valores a verde representam valores de origem atribuídos pela ferramenta [14].



Figura 4: Assistente de medidas de eficiência energética do eQuest [14].

<sup>5</sup> Do Inglês: Wizard.

## Trabalho Relacionado

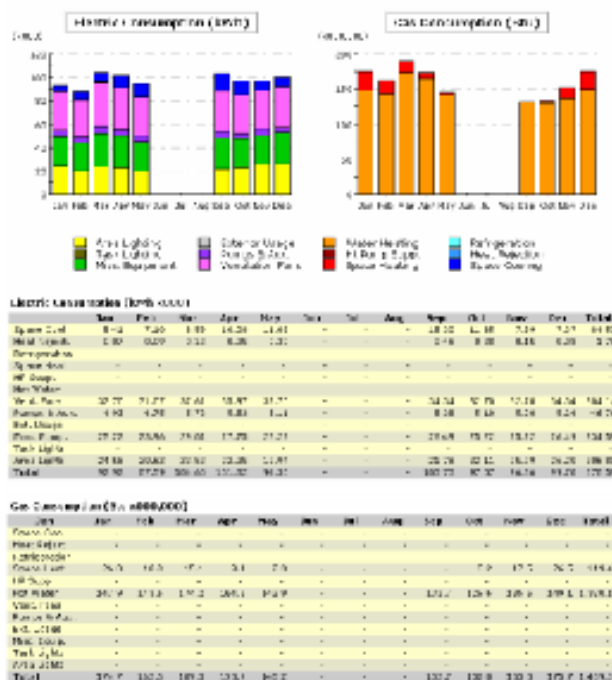


Figura 5: Relatório apresentado pelo eQUEST com resultados do consumo energético mensal [14].

Os relatórios gráficos gerados pela ferramenta, exemplificados na Figura 5, incluem diversas representações dos resultados obtidos, desde tabelas com os valores calculados para os parâmetros energéticos dos edifícios, a gráficos de consumo energético e modelos a três dimensões do edifício fornecido [14]. A Tabela 3 resume os pontos fortes e os pontos fracos do eQUEST.

Tabela 3: Pontos fortes e pontos fracos do eQUEST [15].

Pontos Fortes	Pontos Fracos
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Permite fazer análises muito rápidas com um bom custo-benefício para os consultores.</li> <li>• Permite um elevado nível de detalhe para os utilizadores avançados.</li> <li>• Utiliza o DOE-2 como motor de simulação</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Não modela padrões de fluxos de ar dentro de zonas.</li> <li>• Alguns sistemas novos não podem ser modelados explicitamente.</li> <li>• A geometria do edifício pode ser difícil de desenvolver.</li> </ul>

### 2.1.3 BLAST

O BLAST é um conjunto de programas de computador que permitem prever o consumo de energia de aquecimento e arrefecimento em edifícios e analisar custo de energia. O BLAST pode ser usado para investigar o desempenho energético de opções de *design* de um edifício de qualquer tipo e tamanho. Para além de levar a cabo o cálculo da carga máxima necessária para o *design* de equipamento mecânico, o BLAST também estima o desempenho da energia anual de uma instalação, o que é essencial para o *design* de sistemas de energia total e solar e para determinar a conformidade do *design* para com o orçamento energético. As funcionalidades do BLAST estão incorporadas em simuladores energéticos mais recentes, pelo que o *software* já não é utilizado [16]. A Tabela 4 resume os pontos fortes e os pontos fracos do BLAST.

Tabela 4: Pontos fortes e pontos fracos do BLAST [9].

Pontos Fortes	Pontos Fracos
<ul style="list-style-type: none"> <li>Utiliza algoritmos detalhados para o equilíbrio térmico que permitem fazer a análise do conforto térmico e de outros fatores que não podem ser analisados em programas com modelos de zona menos rigorosos.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Requer um elevado grau de conhecimentos por parte do utilizador.</li> </ul>

### 2.1.4 EnergyPlus

O EnergyPlus é um programa de simulação energética gratuito de nova geração, sem interface gráfica, utilizado por engenheiros, arquitetos e investigadores para modelar a utilização e o consumo de energia e água em edifícios. A modelação do desempenho energético de um edifício com o EnergyPlus permite aos profissionais otimizar o *design* do edifício para utilizar menos energia e água [17]. A Figura 6 apresenta uma visão geral dos módulos constituintes do sistema.

O EnergyPlus combina as melhores características do sistema DOE-2 e do sistema BLAST e modela o aquecimento, arrefecimento, iluminação, ventilação e o consumo de água e outros fluxos de energia. O *software* corre em Windows, Macintosh e Linux e existem inúmeros *add-ons* que facilitam a interação com o simulador. Baseando-se nas descrições de um edifício disponibilizadas pelo utilizador de uma perspetiva da componente física e mecânica associada ao edifício, entre outros sistemas, o EnergyPlus calcula as quantidades de aquecimento e arrefecimento necessárias para manter um controlo térmico dentro de um determinado intervalo, condições ao longo de um sistema de HVAC e o consumo de energia do equipamento existente

no edifício. A integração simultânea destes e muitos outros detalhes, permitem verificar que uma simulação do EnergyPlus representa de forma precisa os consumos energéticos verificados e esperados em edifícios reais [18].

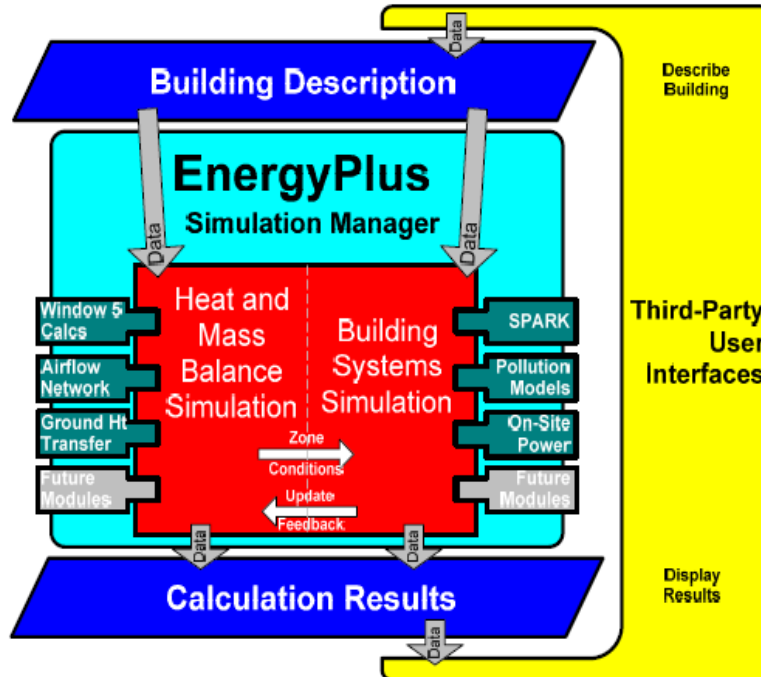


Figura 6: Visão geral dos módulos constituintes do EnergyPlus[46].

O EnergyPlus utiliza diversos ficheiros de entrada e disponibiliza resultados através de vários ficheiros de saída. A Tabela 5 descreve os principais ficheiros de entrada utilizados pelo EnergyPlus.

Tabela 5: Ficheiros utilizados como dados de entrada pelo EnergyPlus[19].

Extensão do Ficheiro	Descrição
.idf	O ficheiro IDF contém informação relativa à geometria do edifício bem como a divisão em zonas, parâmetros energéticos de cada zona e materiais constituintes do edifício, entre outra informação relevante para poder efetuar a simulação.
.idd	O ficheiro de entrada de dados do dicionário especifica as regras de processamento do ficheiro IDF.
.epw	Ficheiro que contém dados meteorológicos de uma determinada zona ou cidade.

## Trabalho Relacionado

Um ficheiro IDF é composto por uma série de objetos IDF individuais. Dentro de um objeto IDF a ordem dos campos é crítica e única de acordo com cada tipo de objeto [56]. A Figura 7 apresenta um exemplo de um objeto IDF.

```
Building,  
BA_MOB Prototype,          !- Name  
0.0,                      !- North Axis {deg}  
City,                      !- Terrain  
0.04,                     !- Loads Convergence Tolerance Value  
0.4,                      !- Temperature Convergence Tolerance Value {deltaC}  
FullInteriorAndExterior, !- Solar Distribution  
25;                       !- Maximum Number of Warmup Days
```

*Figura 7: Exemplo do conteúdo de um objecto IDF [56].*

Um ficheiro IDF é constituído por um conjunto de objetos IDF com uma estrutura semelhante. A primeira linha de um objeto IDF descreve o tipo de objeto e as linhas seguintes descrevem os valores dos diversos parâmetros associados ao objeto IDF separados por vírgulas. O último campo de um objeto termina com um ponto e vírgula para assinalar o fim do objeto. Os comentários, assinalados com o símbolo “!-“ e as mudanças de linha são opcionais e servem principalmente para tornar o objeto IDF mais fácil de ler [56].

A Tabela 6 descreve, os principais ficheiros de saída utilizados pelo EnergyPlus.

*Tabela 6: Ficheiros de saída do EnergyPlus [19].*

Extensão do Ficheiro	Descrição
.out	Cópia dos dados de entrada.
.err	Ficheiro de erros.
.eso	Ficheiro de saída padrão.
.eio	Ficheiro de saída que contém informação opcional.
.rdd	Relatório de dados das variáveis do dicionário.
.dxf	Modelo do edifício utilizado em formato DXF.
.end	Resumo de uma linha com o sucesso ou falha em executar a simulação.

## Trabalho Relacionado

O ficheiro de saída com a extensão ESO possui vários tipos de variáveis: as variáveis de relatório<sup>6</sup>, as variáveis de relatórios de contagem<sup>7</sup>, os relatórios por omissão<sup>8</sup> e os relatórios opcionais<sup>9</sup>, sendo as duas primeiras as mais importantes para esta dissertação. As variáveis de relatórios representam um atributo do EnergyPlus, tal como a temperatura de uma zona ou a temperatura ambiente exterior. Já as variáveis de relatórios de contagem representam uma acumulação de múltiplos atributos da mesma forma, e servem como contadores para facilitar a análise de consumos [62]. Uma variável de relatório de contagem mensal pode assim conter o somatório mensal de várias variáveis de relatório dos consumos de eletricidade diários para uma determinada zona ou para várias zonas do edifício.

Existem inúmeras interfaces e *add-ons* que foram desenvolvidos para o EnergyPlus de modo a tornar a sua utilização mais simples, incluindo o EP-Quick e o EP-Launch. O EP-Quick permite criar um ficheiro IDF de entrada do EnergyPlus baseado em *templates* pré-definidos. O EP-Launch é um componente opcional para a instalação em Windows do EnergyPlus que fornece aos utilizadores uma interface gráfica que permite lançar o programa, executar simulações e visualizar resultados de uma forma conveniente sem ter de utilizar a linha de comandos. A Figura 8 apresenta a interface do componente EP-Launch.

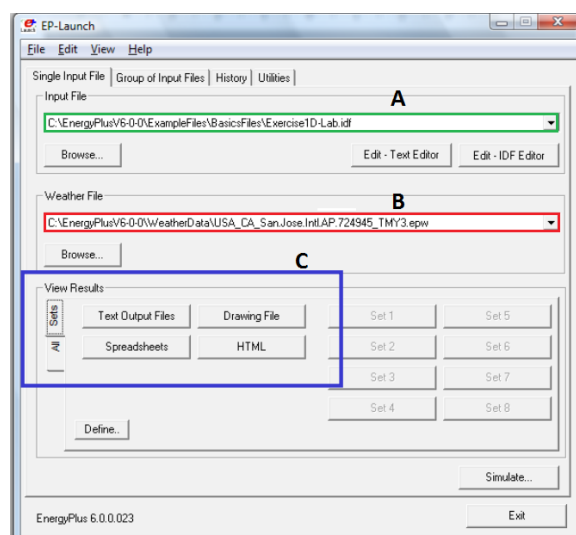


Figura 8: Interface do EP-Launch. O retângulo a verde (A) assinala a caixa onde a escolha do ficheiro IDF é feita. O retângulo a vermelho (B) assinala a caixa onde a escolha do ficheiro EPW é feita. O retângulo a azul (C) assinala as diversas opções de visualização do tipo “Sets” para visualização de resultados.

---

<sup>6</sup> Do Inglês: Report Variables.

<sup>7</sup> Do Inglês: Report Meters.

<sup>8</sup> Do Inglês: Default Reports.

<sup>9</sup> Do Inglês: Optional Reports.

## Trabalho Relacionado

Entre outros utilitários disponíveis destacam-se o IDF-Editor que permite criar e editar ficheiros IDF de uma forma mais pormenorizada que o EP-Quick e o EP-Compare que permite fazer a comparação direta de resultados em forma tabular de múltiplas simulações do EnergyPlus [20] tal como se pode ver na Figura 9.

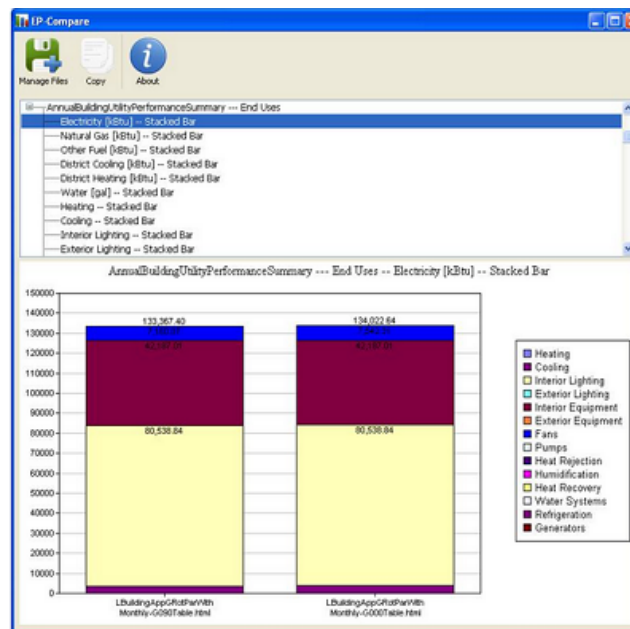


Figura 9: Comparação de dois conjuntos de resultados tabulares com recurso ao utilitário EP-Compare [20].

Para além dos utilitários, o EnergyPlus inclui ainda alguns programas que permitem realizar processamentos adicionais aos resultados. O programa ReadVarsESO é um programa distribuído com o EnergyPlus como uma forma simples de converter ficheiros de output padrão tal como o ficheiro de saída com a extensão ESO, em ficheiros CSV que podem ser colocados diretamente numa folha de cálculo [55]. O ReadVarsESO gera um ficheiro CSV por cada tipo de variável de saída do EnergyPlus. Quer isto dizer que as variáveis de relatório e as variáveis de relatórios de contagem são colocadas em ficheiros CSV diferentes. Como vai ser possível constatar no capítulo correspondente aos detalhes de implementação do sistema, o ReadVarsESO é uma ferramenta imprescindível para pré-processar os resultados antes de serem lidos e colocados na base de dados pela aplicação de gestão de simulações. O único ponto fraco da ferramenta é o facto de apenas serem suportadas 250 variáveis de resultado simultâneas.

A Tabela 7 resume os pontos fortes e os pontos fracos do EnergyPlus.



## Trabalho Relacionado

Tabela 7: Pontos fortes e pontos fracos do EnergyPlus [9].

Pontos Fortes	Pontos Fracos
<ul style="list-style-type: none"><li>• <i>Software</i> gratuito;</li><li>• Capacidades de simulação precisas e detalhadas recorrendo a recursos de modelação complexos.</li><li>• Os dados de entrada são gerados tendo em atenção o modelo do objeto.</li><li>• Possibilidade de importação da arquitetura dos modelos dos edifícios.</li><li>• Inúmeros ficheiros de informação meteorológica disponíveis para uso no website.</li><li>• Suporta adição posterior de add-ons.</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Dificil de utilizar sem add-ons e utilitários de interface gráfica.</li></ul>

Desde o aparecimento dos programas de simulação energética e de outras ferramentas que requerem um elevado poder computacional para a obtenção de resultados em tempo útil, que a optimização de código apareceu como uma tentativa de diminuir os tempos de processamento. Contudo, existe um limite para as optimizações que é possível fazer. Nos últimos anos, com o desenvolvimento das redes de computadores de grande capacidade, assistiu-se a uma adoção generalizada, por parte de grandes empresas de *software* do conceito de computação em nuvem<sup>10</sup>. A computação em nuvem possibilita a utilização de vários computadores em simultâneo, permitindo a realização de várias tarefas ao mesmo tempo ou a distribuição de uma tarefa por vários computadores. Esta metodologia quando aplicada a ferramentas de simulação permite diminuir bastante o tempo de processamento da mesma. Surgiram assim algumas ferramentas que tentam aliviar a computação de simulações do EnergyPlus permitindo realizar as simulações em servidores remotos das quais se destacam o JESS e o EnergyPlus Example File Generator descritas a seguir.

### jEPLUS Simulation Server

O jEPLUS Simulation Server (JESS) é uma ferramenta de software desenvolvida para aceitar pedidos e correr simulações do EnergyPlus num servidor remoto. O JESS é uma consolidação de ferramentas jEPlus ligadas a um servidor e a uma base de dados [57]. O jEPlus

---

<sup>10</sup> Do Inglês: Cloud Computing.

é por sua vez um gestor de simulações paramétricas para o EnergyPlus [58]. A Figura 10 ilustra o conceito do JESS.

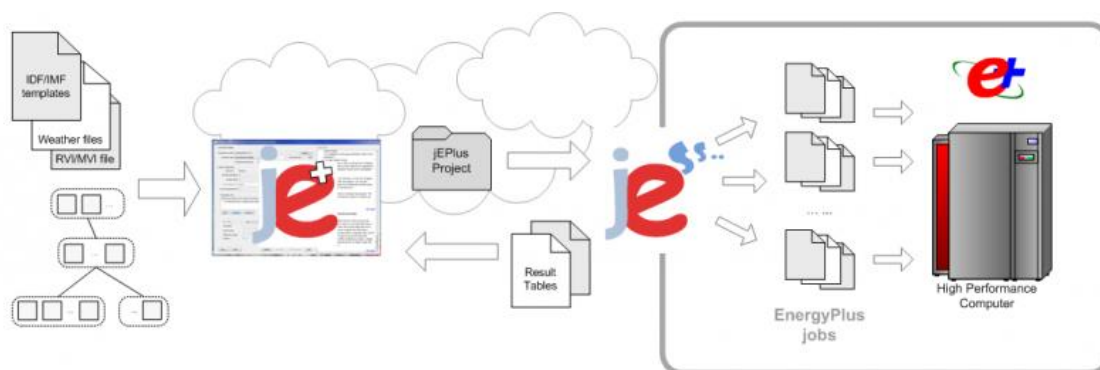


Figura 10: Arquitetura do funcionamento da ferramenta JESS [57].

A utilização do JESS para correr simulações remotamente permite aos seus utilizadores correr várias simulações em simultâneo sem depender do processamento da máquina local, o que é necessário para novos métodos de *design* tais como o estudo dos parâmetros, optimização e análise de sensibilidade. Também permite aos utilizadores utilizar o poder de processamento do seu computador para outras coisas enquanto aguardam pelos resultados das simulações [57]. A lista seguinte descreve as principais características do JESS [57]:

- Suporte para projetos JEPlus bem como para simulações padrão do EnergyPlus;
- Processamento de projetos JEPlus com grande eficiência, especialmente para propósitos de optimização;
- Disponibilização de uma interface de administrador para configuração, gestão e contabilidade;
- Suporte para diferentes plataformas de computação, incluindo nuvens de computação públicas.

### EnergyPlus Example File Generator

O Departamento de Energia dos Estados Unidos<sup>11</sup> disponibiliza no seu site, uma ferramenta web, o EnergyPlus Example File Generator, serviço gratuito desenvolvido pela NREL e pela DOE para auxiliar a aprendizagem do EnergyPlus [59]. Esta ferramenta permite definir vários parâmetros de simulação através da interface web constituída por vários

<sup>11</sup> Do Inglês: U.S. Department of Energy.

formulários, que disponibiliza a definição de parâmetros desde o sistema de HVAC às dimensões do edifício. O sistema possibilita aos utilizadores escolher entre dois tipos de formulário, uma versão simples mais compacta onde apenas é possível manusear alguns parâmetros e uma versão mais detalhada onde é possível alterar todos os parâmetros suportados pela aplicação. A Figura 11 apresenta parte de um formulário que pode ser visto quando é utilizada a versão detalhada.

**Building Activity**

People Density: ?  
☐ 3.91 (Number of People/100m<sup>2</sup>) ☒ Smart default ☐ Use file value

Electrical Plug Intensity: ?  
☐ 8.07 (W/m<sup>2</sup>) ☒ Smart default ☐ Use file value

Gas Appliance Intensity: ?  
☐ 0.30 (W/m<sup>2</sup>) ☒ Smart default ☐ Use file value

Light Intensity: ?  
☐ 10.80 (W/m<sup>2</sup>) ☒ Smart default ☐ Use file value

Exterior Lighting: ?  
☐ 2.50 (W/linear m) ☒ Smart default ☐ Use file value

Figura 11: Parte do formulário a preencher quando é utilizada a versão detalhada do EnergyPlus File Generator [59].

Depois de definidos os parâmetros o utilizador pode submeter o formulário utilizando o botão designado para o efeito. A simulação é realizada num servidor remoto e os ficheiros gerados como entrada bem como os resultados devolvidos pelo EnergyPlus são enviados por email para o utilizador.

## 2.2 Tecnologias para Visualização 3D na Web

Uma das principais fases do projeto de dissertação apresentado consistiu na implementação de uma aplicação web que permite visualizar cenas com modelos de edifícios a três dimensões. Para tal, foi necessário utilizar uma tecnologia para implementar um visualizador no qual o edifício pode ser observado e manipulado mediante certas restrições. Aquando a escolha da tecnologia a utilizar, foi tido em consideração que esta tinha de ser conveniente para o utilizador, abrangendo, em termos de compatibilidade, o maior número de sistemas possíveis. Esta secção apresenta algumas das tecnologias que cumprem as condições previamente referidas, bem como uma análise comparativa das mesmas, o que permite justificar a escolha efetuada, atribuindo especial atenção ao WebGL, API sugerida na proposta de dissertação original.

### 2.2.1 WebGL

O WebGL é uma API para gráficos de baixo nível, multiplataforma e de código aberto, desenhada e mantida pelo Khronos Group baseada no OpenGL ES 2.0, exposta através do elemento Canvas do HTML5 como interfaces DOM. A API é baseada em *shaders* utilizando GLSL, proporcionando um serviço de renderização interativo para cenas em 2D e 3D [25]. Os programas em WebGL consistem em código de controlo escrito em JavaScript e código *shader* que é executado diretamente na placa gráfica do computador. A Figura 12 apresenta uma cena 3D criada com recurso ao WebGL.

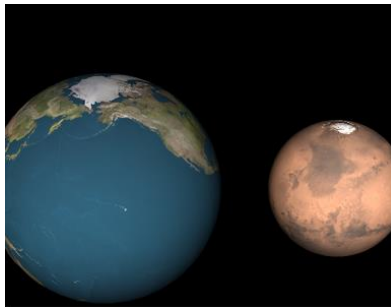


Figura 12: A Terra e Marte num dos exemplos disponibilizados pelo Khronos Group em WebGL [47].

O WebGL proporciona a criação de cenas 3D para a Web sem a necessidade de utilização de *plugins*, estando implementado em grande parte dos *browsers* mais utilizados como o Safari, Google Chrome, Mozilla Firefox e o Opera. Para além disso, a API encontra-se bem documentada o que aliado ao facto de não necessitar a instalação de *plugins* para correr, de ser extensível e relativamente fácil de utilizar é uma grande vantagem relativamente às outras soluções existentes. A Figura 13 apresenta a *pipeline* de renderização do WebGL descrita em [26].

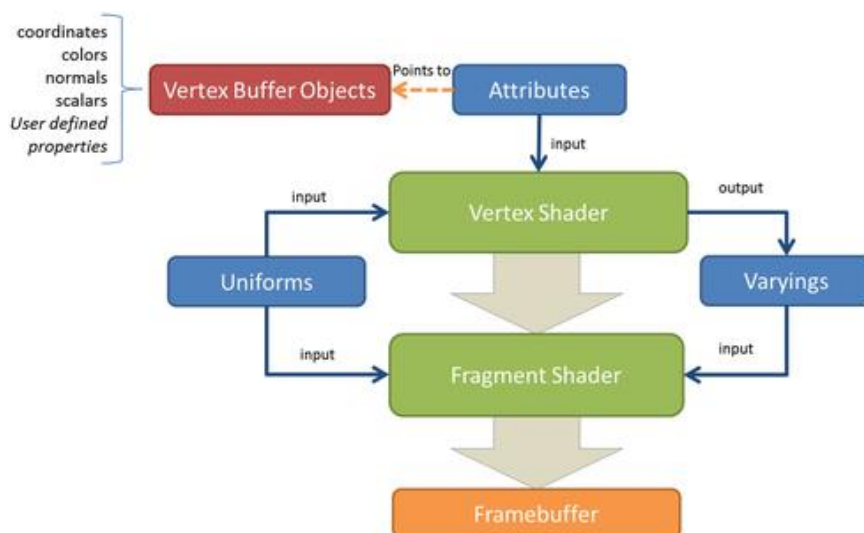


Figura 13: Pipeline de renderização do WebGL [26].

## Trabalho Relacionado

Os *vertex buffer objects* contêm informação que o WebGL necessita para descrever a geometria que vai ser renderizada. As coordenadas dos vértices são normalmente guardadas e processadas no WebGL como VBOs. Para além disso, existem diversos elementos tais como normais, cores, coordenadas de texturas, entre outros, que podem ser modelados como VBOs [26].

O *vertex shader* é chamado em cada vértice. Este módulo, manipula informação relativa a cada vértice tal como as coordenadas do vértice, normais, cores e coordenadas de textura. Esta informação é representada por atributos dentro do módulo *vertex shader*. Cada atributo aponta para o VBO de onde lê a informação do vértice [26].

Cada conjunto de três vértices define um triângulo e cada elemento na superfície desse triângulo tem de ter uma cor atribuída. De outro modo a superfície seria transparente. Cada elemento da superfície é chamado um fragmento, também designado por pixel quando a visualização é feita no ecrã. O objetivo principal do módulo *fragment shader* é calcular a cor de cada pixel individual [26], tal como é mostrado na Figura 14.

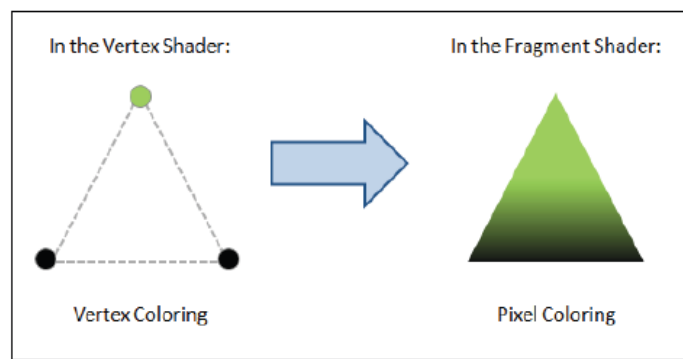


Figura 14: Representação das cores no Vertex Shader e no Fragment Shader [26].

O *framebuffer* é um *buffer* bi-dimensional que contém os fragmentos que foram processados pelo *fragment shader*. Quando todos os fragmentos forem processados, uma imagem 2D é formada para ser mostrada no ecrã. O *framebuffer* é o destino final da *pipeline* de renderização [26].

Os atributos são variáveis de entrada utilizadas no *vertex shader*, *uniforms* são variáveis de entrada disponíveis tanto para o *vertex shader* como para o *fragment shader* e *varyings* são usados para passar informação do *vertex shader* para o *fragment shader* [26].

Desde o seu aparecimento, que o WebGL foi adotado como base para inúmeras *frameworks*, algumas das quais são apresentadas na lista seguinte [27].

- **Three.js** – *framework* de código aberto de alto nível utilizada para criar e permitir a visualização de objetos 3D animados no browser;

## Trabalho Relacionado

- **GLGE** – semelhante à Three.js mas com menos funcionalidades;
- **SceneJS** – *framework* de código aberto que utiliza o conceito de grafo hierárquico da cena para fazer a preparação e renderização da mesma;
- **CopperLicht** – *framework* comercial com licença proprietária.

O WebGL serve de base a vários programas que permitem visualizar modelos e cenas 3D na web. Um visualizador 3D na web é uma plataforma que permite criar ou carregar modelos 3D de objetos que posteriormente são mostrados a três dimensões recorrendo a um *browser*. Este tipo de ferramentas proporciona ao utilizador uma interface de interação com os objetos da cena que permite manipular a posição da câmara e, muitas das vezes, alguns atributos dos objetos presentes na cena. Estas ferramentas podem ser adaptadas a várias atividades como por exemplo a educação, jogos electrónicos e entretenimento. O visualizador pode ser uma aplicação web ou uma aplicação instalada na máquina do utilizador, que posteriormente exporta uma representação, normalmente HTML, que pode ser interpretada pelo *browser*. As secções seguintes apresentam alguns dos visualizadores existentes na atualidade.

### WebGL-Publisher

O WebGL-Publisher [6] é uma aplicação instalada localmente, que permite publicar informação geométrica em 3D em ambiente web. Utiliza WebGL, o qual é suportado por vários *browsers* em diferentes plataformas e sistemas operativos. O WebGL-Publisher suporta a importação de diversos formatos de geometria nos quais se incluem o formato DXF, STEP, IGES, OBJ, 3D Studio e STL. A geometria pode ser modificada posteriormente em termos de aparência trocando cores ou transparência, recorrendo à interface da aplicação apresentada na Figura 15.

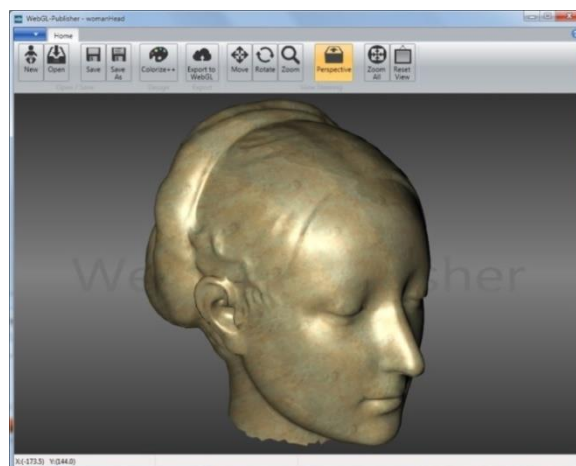


Figura 15: Interface da aplicação WebGL-Publisher.

## Trabalho Relacionado

É possível adicionar texturas e aplicar *shaders* pré-definidos. A geometria pode ser exportada, numa fase posterior, para uma representação HTML e publicada na web sem custos adicionais [7].

O WebGL-Publisher é baseado nas bibliotecas base da *framework* CADMAI e esconde a complexidade do CAD de modo a facilitar a utilização por parte do utilizador e utiliza o seu próprio formato, o WPM. O uso sem licença do *software* é limitado, não permitindo exportar modelos entre outras restrições. A licença custa cerca de 30 euros [7]. A Figura 16 apresenta um modelo importado para o *browser*.



Figura 16: Resultado do HTML da interface e de um modelo gerado pela aplicação importado para um *browser*.

### Open-3d-viewer

O open-3d-viewer [8], desenvolvido pela Google, é um visualizador 3D de código aberto<sup>12</sup> que permite visualizar modelos 3D em WebGL através do *browser*. A plataforma possui uma licença Apache versão 2.0. O visualizador disponibiliza uma forma de criar e visualizar modelos 3D em web *browsers* com várias camadas integradas no mesmo modelo e um motor de pesquisa das suas partes constituintes, como pode ser observado através da interação com a aplicação. O código fonte da plataforma foi disponibilizado aquando a descontinuação do Google Labs e utilizado como base para o projeto Zygote Body pertencente ao Zygote Media Group.

---

<sup>12</sup> Do Inglês: Open Source.

## Trabalho Relacionado



Figura 17: Exemplo de aplicação criada com recurso ao projeto open-3d-viewer.

### Zygote-Body

O ZygoteBody [50] é uma aplicação Web desenvolvida inicialmente pela Google e mantida pelo Zygote Media Group, que permite visualizar em 3D modelos anatômicos do corpo humano através das tecnologias JavaScript e WebGL. Os modelos incluem várias camadas de tecidos e músculos que podem ser tornadas transparentes de modo a permitir um melhor estudo individual de todas as componentes do corpo humano até ao nível dos vasos sanguíneos. A aplicação inclui ainda uma caixa de pesquisa que permite a pesquisa de várias partes do corpo, mostrando o resultado da pesquisa destacado no modelo.

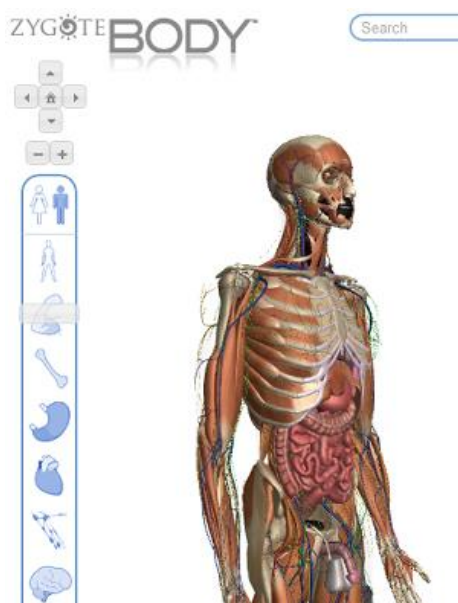


Figura 18: Interface da aplicação Zygote Body [50]. É possível ver um modelo do corpo humano com todas as camadas visíveis menos a pele.



### 2.2.2 Stage 3D

As APIs do Stage 3D requerem o Flash Player e Adobe AIR para correr e fornecem uma arquitetura que tira partido do *hardware* para disponibilizar uma área de visualização e um contexto de renderização programável para gráficos a duas e três dimensões, para web browsers e aplicações iOS e Android [28]. O Stage 3D fornece várias opções para os *developers*, tanto para os interessados em programar numa linguagem de baixo nível, como para os interessados em tirar partido das suas capacidades de ActionScript [28]. Existem ainda inúmeras *frameworks* que utilizam o Stage 3D, algumas das quais são apresentadas na Tabela 8.

Tabela 8: Frameworks e bibliotecas para o Stage3D [28].

Gráficos	Nome da Framework
2D	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Starling</li> </ul>
3D	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Away3D</li> <li>• Flare3D</li> <li>• EasyAGAL</li> <li>• Alternativa3D</li> <li>• Mixamo</li> <li>• Minko</li> </ul>

### 2.2.3 Silverlight

O Microsoft Silverlight é uma ferramenta de desenvolvimento com o objetivo de criar páginas web interativas e aplicações móveis. O Silverlight requer a instalação de um *plugin*, sendo compatível com diversos *browsers*, dispositivos e sistemas operativos [29]. A plataforma sofre contudo de algumas inconveniências nomeadamente o facto de não correr em dispositivos móveis nem em MacOS e a documentação, no que toca às funcionalidades da API 3D, não ser muito extensiva, o que pode ser observado lendo a referida documentação. A Figura 19 representa um objeto criado recorrendo a Silverlight 5.

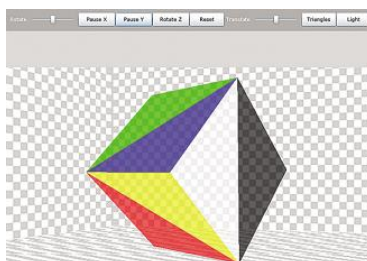


Figura 19: Objeto 3D desenvolvido em Silverlight 5 [33].

### 2.2.4 Unity 3D

O Unity 3D é uma plataforma de desenvolvimento de jogos que integra um motor de renderização e diversas ferramentas e fluxo de trabalhos rápidos, que permitem criar conteúdo 3D interativo para diversas plataformas incluindo web browsers [30]. Para visualizar conteúdo desenvolvido em Unity diretamente num web browser é necessário instalar o Unity3D Web-Player.

### 2.2.5 Análise Comparativa das Tecnologias para Visualização 3D na Web Apresentadas

Todas as tecnologias para visualização 3D na web analisadas apresentam vantagens e desvantagens em relação às suas concorrentes. Os critérios de escolha da tecnologia a utilizar resumem-se à necessidade de instalação de software adicional por parte do utilizador final bem como à qualidade da documentação existente de modo a implementar uma plataforma robusta tendo em conta possíveis desenvolvimentos futuros. De modo a averiguar se a tecnologia sugerida na proposta de dissertação, o WebGL, é a melhor opção face aos concorrentes mais diretos, algumas características de cada tecnologia foram agrupadas na Tabela 9.

*Tabela 9: Análise comparativa de tecnologias para visualização 3D na web.*

Nome	Requer a instalação de <i>plugins</i> ou outro software para correr no browser?	Documentação	Compatibilidade com dispositivos móveis
WebGL	Não	Boa	Fraca
Stage 3D	Sim	Razoável	Muito Fraca
Silverlight	Sim	Razoável	Muito Fraca
Unity 3D	Sim	Boa	Fraca

Como é possível constatar através da observação da tabela 9, o WebGL apresenta-se como uma API bem documentada e extensível que não requer a instalação de *plugins* ou software adicional para correr, apresentando-se assim como a melhor solução para o problema em mãos.

## 2.3 Frameworks e Bibliotecas para WebGL

O WebGL caracteriza-se por ser uma API que permite ao programador interagir diretamente com a placa gráfica. Como tal, apesar de ser uma API acessível, requer bastante estudo e prática para ser utilizada de forma eficiente. Face a este problema, é possível utilizar *frameworks* ou bibliotecas que abstraem alguma da complexidade do WebGL e o tempo adicional, que de outra forma seria gasto a programar em WebGL diretamente, pode ser utilizado para realizar outras tarefas relevantes para a implementação de uma plataforma robusta. Esta secção descreve algumas da *frameworks* e bibliotecas que apresentam um grande potencial futuro e que podem desde já ser utilizadas na implementação do visualizador da plataforma web a desenvolver.

### 2.3.1 Three.js

O Three.js [31] é uma *framework* de código aberto de alto nível usada para criar e permitir a visualização de gráficos de computador 3D num web browser. Os scripts do Three.js podem ser usados em conjunto com o elemento canvas do HTML5, SVG e WebGL. O principal objetivo da *framework* é abstrair os problemas de criação de objetos 3D no browser, o que no caso do WebGL é bastante útil uma vez que deixa de ser necessário definir objetos vértice a vértice [32].

A *framework* conta com inúmeros exemplos de utilização na sua página web e no repositório GitHub bem como um manual de utilização simplificado, *wiki* e uma comunidade de desenvolvimento ativa. A Figura 20 apresenta um modelo com texturas e materiais, carregado utilizando um dos utilitários disponíveis da *framework*, que permite carregar um modelo feito previamente e fazer a visualização do mesmo no *browser*.

Existem inúmeros projetos desenvolvidos pela comunidade que podem ser combinados com a *framework* para incluir novas funcionalidades tais como motores de física.

Os objetos podem ser carregados recorrendo a um dos utilitários disponibilizados e transformados na notação própria da *framework*, baseada em JSON, denominado JSON Model format 3.1. Este formato mantém a divisão do objeto carregado em *meshes*, cada qual com um identificador com o mesmo nome que o identificador que as define nos formatos OBJ, DXF e no formato IDF do EnergyPlus. Assim, é possível utilizar técnicas de *picking* para seleccionar uma *mesh* pertencente a um objeto e comparar o seu identificador com os identificadores dos objetos e materiais existentes no ficheiro IDF do EnergyPlus. Este procedimento irá permitir alterar as propriedades definidas para as zonas definidas dentro do ficheiro IDF de modo a realizar uma nova simulação.

## Trabalho Relacionado

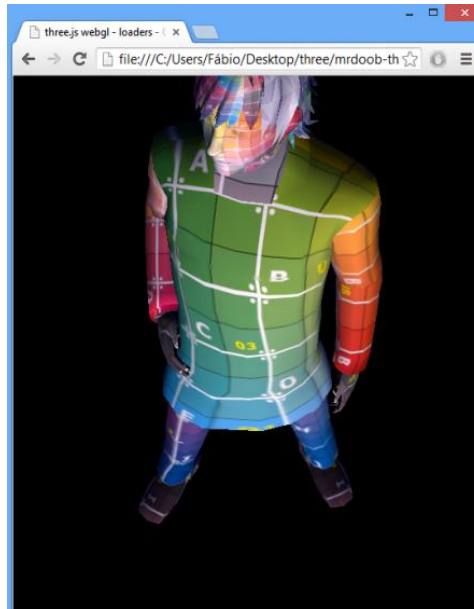


Figura 20: Modelo de um objeto no formato OBJ carregado com recurso a um dos utilitários disponíveis na framework Three.js.

### 2.3.2 GLGE

O GLGE é uma biblioteca e *framework* JavaScript de código aberto que tem o objetivo de facilitar a utilização do WebGL. O GLGE permite abstrair a natureza envolvente do WebGL de modo a que o programador possa gastar o seu tempo a criar conteúdo mais rico para a web ao invés de gastar este tempo a trabalhar com a API relativamente baixo nível do WebGL [34]. O GLGE conta, para além do website em que a *framework* é apresentada, com um fórum de discussão, documentação da API e algumas demonstrações de utilização.

### 2.3.3 SceneJS

O SceneJS é um motor 3D de código aberto em JavaScript que disponibiliza uma API do grafo da cena baseada em JSON para o WebGL. Foi criada tendo em vista a renderização eficiente de um grande número de objetos para uma visualização muito detalhada [35]. O SceneJS foi utilizado em alguns projetos, nomeadamente visualizadores de modelos de edifícios, um visualizador do corpo humano em 3D que permite visualizar milhares de objetos anatómicos e condições de saúde numa plataforma web interativa [36] e um simulador de cirurgias [37].

A *framework* conta com um breve tutorial disponível na página principal do seu website e uma lista moderada de exemplos e demos que devem ser explorados e utilizados como principal apoio para a aprendizagem da API.

### 2.3.4 CopperLicht

O CopperLicht é uma biblioteca de WebGL bem como um motor 3D que pode ser utilizado para criar jogos e aplicações 3D visualizados no web browser [51]. A biblioteca utiliza WebGL, que hoje em dia é suportado de forma nativa pelos browsers mais modernos, e é capaz de renderizar gráficos 3D utilizando o hardware do computador sem a necessidade de instalação de qualquer *plugin* [52]. Apesar de não ser um projeto de código aberto, o CopperLicht pode ser usado de forma livre mediante algumas restrições expressas na licença de utilização. A grande vantagem do CopperLicht prende-se com o facto de incluir um editor, o que facilita a criação de conteúdo 3D para a web.

No site oficial da biblioteca, está disponível um fórum de discussão, no qual os utilizadores podem discutir ideias, colocar questões e tirar dúvidas acerca da utilização do CopperLicht, estando também disponíveis inúmeras demonstrações bem como uma lista de tutoriais e a documentação da API.

### 2.3.5 Análise Comparativa das Frameworks e Bibliotecas para WebGL Apresentadas

De modo a escolher a *framework* a utilizar para facilitar a implementação do visualizador da plataforma a desenvolver, depois de analisar a documentação e os exemplos disponíveis de cada uma das *frameworks* apresentadas, foi elaborada a seguinte comparação na Tabela 10.

*Tabela 10: Comparação de alguns atributos associados às frameworks em análise. Os dados de popularidade no GitHub foram atualizados a 17 de Julho de 2013.*

Nome	Data da Última Atualização no GitHub	Documentação	Número de Exemplos	Licença	Popularidade no GitHub (número de seguidores)
Three.js	15-07-13	Razoável	Grande	MIT	12057
GLGE	À mais de um ano.	Boa	Pequeno	BSD	317
SceneJS	10-07-13	Boa	Razoável	MIT ou GPL	240
CopperLicht	À mais de 6 meses	Boa	Pequeno	CopperLicht e Comercial	11

De todas as *frameworks* apresentadas, o Three.js é aquela que apresenta um maior número de exemplos de utilização, com código fonte disponível para correr no browser. Para além disso é a *framework* de código aberto que apresenta um maior grau de popularidade e de envolvimento ativo da comunidade no seu desenvolvimento. O Three.js caracteriza-se também por ter uma API de alto nível o que diminui, em muito, o tempo que um programador tem de gastar para aprender a utilizar a *framework* e para implementar no seu website as funcionalidades 3D que deseja. O Three.js foi portanto a *framework* para WebGL escolhida para auxiliar na implementação do visualizador da plataforma web desenvolvida.

## 2.4 Plataformas Web com Visualizador e Simulador Incorporado

Segundo Deringer et al. em [21], poupar energia em edifícios envolve mais do que desenvolver novas tecnologias. Equipamento de grande eficiência que não é instalado, calibrado, operado e mantido corretamente vai, tipicamente, poupar menos energia do que o estimado. Assim, é essencial treinar, no presente e no futuro, pessoas especializadas no *design*, construção, operação e manutenção de edifícios e sistemas cada vez mais complexos. De momento o conjunto de recursos de software que disponibiliza uma experiência a nível dos sistemas e a nível dos edifícios é bastante pequeno e limitado no que toca às plataformas suportadas, dependência de sistemas de modelação e curvas de aprendizagem [21].

Esta secção apresenta duas plataformas web, ainda em desenvolvimento, que combinam uma visualização da cena a três dimensões num browser recorrendo a WebGL com motores de simulação energética, para permitir que os seus utilizadores possam fazer o *design*, construção e manutenção de edifícios novos ou existentes com a intenção de aumentar o seu desempenho energética.

### 2.4.1 LearnHPB

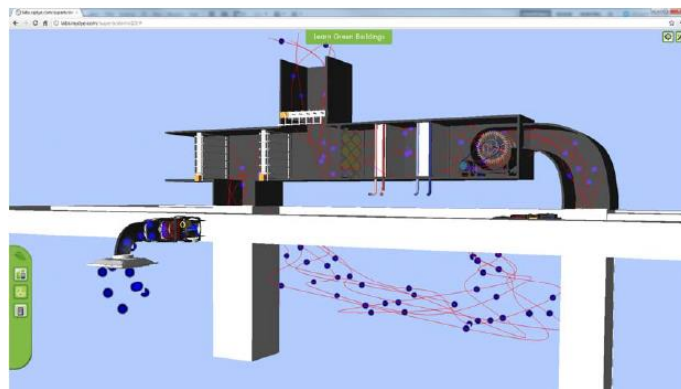
O Learn High Performance Buildings , que começou por se chamar Learn Green Buildings, é um projeto em desenvolvimento fundado pela Comissão de Energia da Califórnia, que pretende ser uma ferramenta de eLearning online para ajudar os utilizadores a aprender a fazer o *design*, construção e manutenção de edifícios com um elevado desempenho energético recorrendo a ambientes virtuais em 3D interativos [21].

O LearnHPB utiliza cenários de casos de estudo baseados em problemas, suportados por visualizações em 3D e abordagens baseadas em jogos para representar situações da vida real encontradas nas fases chave do ciclo de vida de um edifício [21]. O projeto está a ser desenvolvido tendo por base os 5 anos de resultados obtidos através do desenvolvimento da ferramenta de e-learning LearnHVAC [23], e oferece aos utilizadores a possibilidade de

## Trabalho Relacionado

aprender conceitos acerca do desempenho energético de quatro sistemas de energia de edifícios: o exterior envolvente, sistemas HVAC, iluminação e iluminação natural [22].

Quando lançado oficialmente, o software será de código aberto e estará disponível através de uma plataforma web de domínio público de modo a facilitar a difusão da plataforma e a criação de potenciais extensões e modificações. Todas as ferramentas e recursos desenvolvidos estarão disponíveis, sem qualquer custo para o utilizador. A plataforma utiliza WebGL para fazer a renderização da cena e programas de simulação entre os quais o EnergyPlus [21]. Na Figura 21 é possível visualizar a interface da plataforma durante a realização de uma simulação.



*Figura 21: Interface da plataforma LHPB com uma simulação de exemplo [21].*

### 2.4.2 eLAD

O eLAD ou E Lighting and Daylighting é um projeto para o Departamento de Energia dos Estados Unidos da América. A plataforma encontra-se a ser desenvolvida em paralelo com o LHPB, colaborando de forma informal com a intenção de permitir que as interfaces gráficas e as estruturas de dados sejam compatíveis entre os programas [24]. O eLAD foca-se apenas, de forma mais detalhada, nos sistemas de iluminação e iluminação natural de edifícios e utiliza valores de simulações pré-calculados [21]. A Figura 22 apresenta a interface da plataforma eLAD, com a câmara da cena colocada dentro de um edifício.

A missão da plataforma eLAD conjuntamente com a plataforma LearnHPB consiste em aumentar a habilidade da indústria de construção em desenhar, construir, operar, manter e reparar edifícios com grande desempenho energético, aumentando a capacidade dos participantes no projeto em documentar, desenhar, instalar, operar e manter edifícios [21].



Figura 22: Interface da plataforma eLAD [24].

## 2.5 Tecnologias para a Plataforma Web

Para implementar a plataforma web foi necessário utilizar diversas tecnologias que se enquadram no lado do cliente e no lado do servidor da plataforma. As secções seguintes apresentam as tecnologias escolhidas para implementar a prova de conceito da solução apresentada na secção 3.5 capítulo 3.

### 2.5.1 Tecnologias do Lado Servidor

O lado servidor de uma aplicação web incorpora tecnologias que atuam e realizam operações apenas no servidor. Dentro das tecnologias web a utilizar do lado do servidor, destacam-se o Apache Web Server, o MySQL e o PHP.

O Apache Web Server, oficialmente Apache HTTP Server Project, é um projeto que pretende desenvolver e manter um servidor HTTP para sistemas operativos modernos, onde se inclui o UNIX e o Windows. O objetivo do projeto é disponibilizar um servidor seguro, eficiente e extensível capaz de proporcionar serviços HTTP em sincronia com os padrões HTTP atuais. Este servidor web<sup>13</sup> tem sido o mais popular na internet desde Abril de 1996 o que por si só justifica a sua escolha em detrimento de outros servidores existentes. No presente encontra-se na versão 2.4.4 lançada a 25 de fevereiro de 2013 [38].

Em qualquer aplicação web, é necessário criar e manter uma base de dados, onde será guardada a informação necessária ao correto funcionamento da plataforma. Inicialmente, o sistema de gestão de bases de dados escolhido foi o PostgreSQL. O PostgreSQL é um sistema de bases de dados de código aberto que conta com mais de quinze anos de desenvolvimento ativo [39]. A escolha inicial deste sistema de base de dados em favor de outras soluções como o

---

<sup>13</sup> Do Inglês: Websver.



MySQL, utilizado por muitas das maiores organizações [40], prende-se ao tipo de licença usado pelos sistemas. A licença utilizada pelo PostgreSQL não requer qualquer tipo de pagamento nem que os seus utilizadores tornem público o código desenvolvido. Contudo, após o início da fase de desenvolvimento da dissertação foi decidido que a utilização do MySQL seria mais vantajosa uma vez que este é o sistema de base de dados utilizado na Smartwatt, o que vai facilitar o desenvolvimento, manutenção e integração futura com outras soluções de software desenvolvidas pela empresa. A Smartwatt já possui uma licença comercial do MySQL o que elimina o principal ponto fraco que me levou a descartar esta escolha inicialmente. Após mais alguma análise averiguou-se também que a inclusão do MySQL com o resto da aplicação seria mais fácil de efetuar do que usando PostgreSQL devido ao grande número de bibliotecas de conexão existentes para as mais variadas linguagens de programação.

O PHP é uma linguagem de scripts adequada ao desenvolvimento web, que se apresenta como uma forma rápida, flexível e programática de acrescentar funcionalidades a um website, que o HTML não permite fazer, tais como recolher informação do utilizador para fazer um post num blog ou interagir com as bases de dados [41]. Os scripts são interpretados do lado do servidor. O ASP.NET, concorrente mais direto do PHP, é uma *framework* grátis para construir web sites, aplicações e serviços com HTML, CSS e Javascript [54]. Esta *framework* foi posta de parte, uma vez que a Smartwatt utiliza o PHP como principal linguagem para implementar os serviços web que disponibiliza, não utilizando ferramentas da Microsoft que justifiquem a sua utilização. O PHP carece também de problemas de licenciamento que existem derivados do uso do ASP.NET, apresentando-se como a melhor escolha não só para o desenvolvimento da prova de conceito inicial, como para desenvolvimento futuro por parte dos colaboradores da Smartwatt.

### 2.5.2 Tecnologias do Lado Cliente

As tecnologias do lado cliente numa aplicação web, dizem respeito às linguagens e técnicas utilizadas no computador do utilizador final pelo *browser*, para interpretar o conteúdo de uma página web.

Em primeiro lugar, e como não podia deixar de ser, aparece o HTML. O HTML é a linguagem de publicação de conteúdo da Internet, sendo um dos padrões da W3C. A versão recomendada atualmente é a versão 4.01, apesar de estar a decorrer um trabalho intensivo para definir a próxima versão, o HTML5, que inclui diversas novas funcionalidades [42]. No desenvolvimento da aplicação web, tirou-se vantagem das novas funcionalidades do HTML5.

Já o JavaScript é uma linguagem interpretada orientada a objetos, mais conhecida como uma linguagem de scripts para páginas web [43]. Ao contrário do PHP, os scripts são interpretados do lado do cliente pelo *browser*. O JavaScript transforma as páginas web estáticas, em páginas capazes de interagir com os utilizadores sem ser necessário carregar uma nova página sempre que um pedido é feito. O JavaScript dá um comportamento à página web que torna o conteúdo definido pelo HTML e a aparência definida pelo CSS mais dinâmicos. O

JavaScript permite por exemplo validar cada campo de um formulário de forma individual e dar feedback imediato ao utilizador quando ocorre um erro, sem que o utilizador tenha de preencher e submeter todo o formulário só para receber um erro no final [44].

O AJAX é um conjunto de técnicas utilizadas do lado do cliente numa aplicação web que combina várias tecnologias tais como o JavaScript e o XML, de modo a permitir a criação de páginas web assíncronas [45]. A utilização de AJAX permite que a aplicação web desenvolvida comunique com o servidor de forma assíncrona sem interferir com o comportamento da página existente.

O jQuery é uma biblioteca pequena e rápida que torna operações tais como a navegação e manipulação de documentos HTML, o tratamento<sup>14</sup> de eventos, animação e AJAX muito mais simples recorrendo a uma API que funciona de forma transversal numa multitude de browsers [53]. A biblioteca torna mais fácil a resolução de alguns problemas do que quando é utilizando Javascript puro. A aplicação web desenvolvida como parte da prova de conceito do sistema proposto neste documento, faz um uso extensivo das técnicas AJAX e da manipulação dinâmica dos elementos das páginas web, seja através da criação de listas de acordo com o número de pedidos de simulação completos, quer através da criação de barras de progresso para mostrar o estado das simulações e da recolha dos resultados das simulações, pelo que é essencial utilizar ferramentas e bibliotecas que tornem estas operações o mais simples possível de implementar para o desenvolvedor de software<sup>15</sup> e o mais intuitivo possível de navegar por parte dos utilizadores da aplicação.

No que toca à definição de estilos, para além do código em CSS3, foram utilizados os estilos das *frameworks* Bootstrap<sup>16</sup> e jQuery UI<sup>17</sup>.

De modo a controlar e visualizar os valores das variáveis associadas ao modelo do edifício, tais como a opacidade e o nome da zona seleccionada, foi utilizada a biblioteca dat.GUI<sup>18</sup> que consiste numa interface gráfica para alterar variáveis em JavaScript. Um menu de opções criado com recurso a esta biblioteca pode ser observado no lado direito das páginas da aplicação web que utilizam WebGL. A Figura 23 apresenta um menu interativo criado na página de visualização de resultados com recurso à biblioteca dat.GUI.

---

<sup>14</sup> Do Inglês: handling.

<sup>15</sup> Do Inglês: Software Developer.

<sup>16</sup> Url da Framework: <http://getbootstrap.com/>

<sup>17</sup> Url da Framework: <http://jqueryui.com/>

<sup>18</sup> Url da Biblioteca: <https://code.google.com/p/dat-gui/>

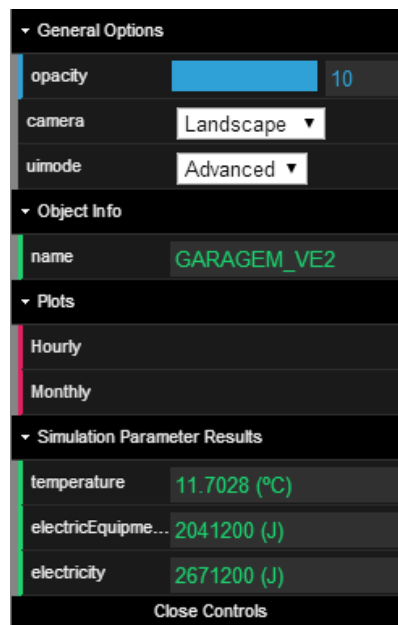


Figura 23: Menu Interativo criado com recurso à biblioteca *dat.GUI* na página de visualização resultados da aplicação web.

Foi também utilizado o *plugin* para jQuery jsTree<sup>19</sup> para construir um modelo em árvore com os nomes das zonas do edifício e a biblioteca HighCharts JS<sup>20</sup> para fazer a criação dinâmica de gráficos com os resultados das simulações.

## 2.6 Tecnologias para a Plataforma de Gestão de Simulações

A plataforma de gestão de simulações é constituído por um sistema de ficheiros para manter os dados de simulações e edifícios, e por uma aplicação cujo objetivo é ler e interpretar as parametrizações definidas pelo utilizador na aplicação web, correr uma simulação energética no EnergyPlus e tratar e enviar os resultados para a base de dados de modo a poderem ser lidos pela aplicação web. Assim foi identificada uma necessidade de utilizar uma linguagem orientada a objetos que permita não só realizar as tarefas referidas anteriormente de uma forma eficiente mas também efetuar uma ligação à base de dados para ler e escrever a informação necessária.

Tendo em vista a eficiência, portabilidade e suporte para bibliotecas externas, foi escolhida a linguagem C++ para implementar esta aplicação [63]. A possibilidade de criar apontadores e de fazer uma gestão de memória manual permite obter uma maior eficiência, rapidez e controlo sobre o código do que outras linguagens que restringem estas funcionalidades.

<sup>19</sup> Url do Plugin: <http://www.jstree.com/>

<sup>20</sup> Url da Biblioteca: <http://www.highcharts.com/>

Para efetuar a ligação à base de dados MySQL foi escolhida a biblioteca MySQL Connector/C++, desenvolvida pela oracle. Esta biblioteca permite estabelecer ligações entre uma aplicação C++ e uma base de dados MySQL, suportando o paradigma da programação orientada a objetos [64]. A biblioteca requer uma licença comercial para comercialização, e pode ser livremente utilizada por empresas que já tenham adquirido uma licença MySQL para a sua base de dados. A biblioteca MySQL Connector/C++ requer a instalação da biblioteca cliente MySQL e das bibliotecas Boost C++ [65].

## 2.7 Resumo

Este capítulo apresentou uma descrição resumida dos principais componentes utilizados na implementação do sistema proposto e respetivo estado da arte. Foram descritos e comparados simuladores energéticos, dando-se ênfase ao EnergyPlus bem como tecnologias de visualização de modelos 3D na web detalhando-se mais o WebGL e as bibliotecas existentes que abstraem a dificuldade da sua utilização das quais se destaca o three.js. Por fim, foi feita uma descrição das principais tecnologias utilizadas na implementação da prova de conceito as quais se agrupam em lado cliente e lado servidor para a aplicação web e numa aplicação local que corre no servidor e atua como um gestor de simulações.

## **Capítulo 3**

# **Identificação do Problema e Arquitetura Proposta**

A Smartwatt possui dois tipos de serviços primordiais que disponibiliza aos seus clientes. Um serviço de simulação do consumo energético de edifícios, para realizar auditorias e atribuir certificados energéticos e um serviço de gestão e monitorização permanente do consumo energético de edifícios. A secção 3.1 descreve as soluções atuais da Smartwatt para fornecer serviços de simulação e monitorização aos seus clientes. A secção 3.2 descreve os programas de modelação a três dimensões utilizados na solução atual para criar os modelos dos edifícios. A secção 3.3 descreve o sistema de gestão e monitorização permanente utilizado pela Smartwatt. Na secção 3.4 são identificados os principais problemas das soluções atuais da Smartwatt e na secção 3.5 é apresentada a arquitetura da solução implementada sem entrar em muitos pormenores de implementação. Finalmente a secção 3.6 apresenta um resumo do capítulo.

### **3.1 Solução Atual para Auditorias e Certificações Energéticas de Edifícios**

O diagrama da Figura 24 apresenta a solução atual da Smartwatt para a realização de simulações de consumo energético de edifícios.

## Identificação do Problema e Arquitetura Proposta

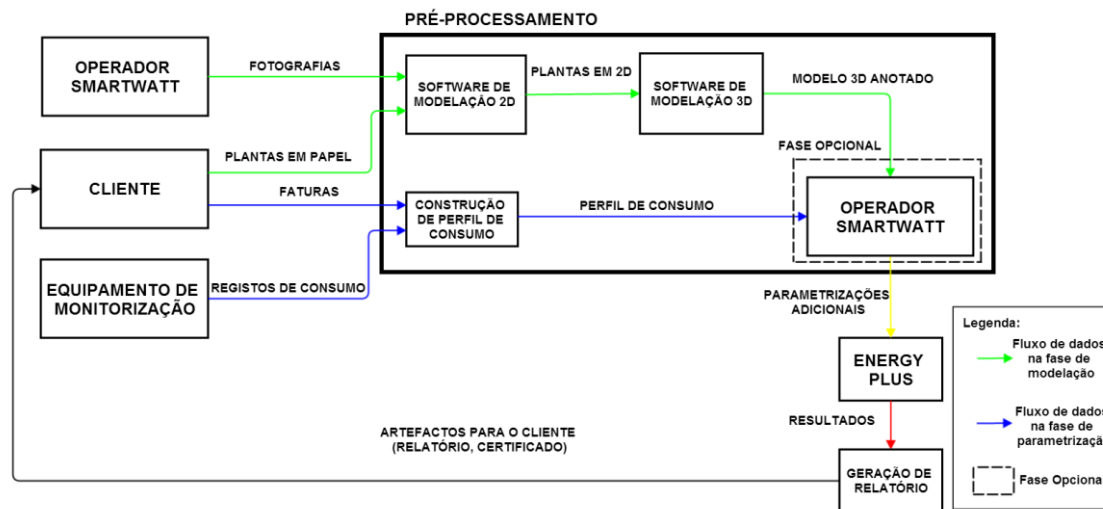


Figura 24: Solução atual da Smartwatt para realizar simulações energéticas de edifícios.

Um cliente que pretenda efetuar uma auditoria energética do seu edifício ou obter um certificado energético, fornece à Smartwatt, quando tem acesso a elas, plantas do edifício em papel ou em formato digital, assim como faturas dos consumos energéticos verificados no passado. As faturas têm de ser entregues em formato físico de modo a comprovar a sua autenticidade. Alguns operadores da Smartwatt, normalmente dois, dirigem-se então ao edifício onde tiram um grande número de fotografias de alta definição do local em questão. São também instalados equipamentos de monitorização que permanecem no local durante sete dias e efetuam um registo dos consumos verificados. Ao fim dos sete dias, o equipamento de monitorização é removido.

Na fase seguinte do processo, as fotografias de alta definição e as plantas em papel ou em formato digital do edifício, são utilizadas como base para fazer a modelação das plantas em duas dimensões, utilizando um software de modelação 2D, o CAD. Esta etapa do processo de modelação é bastante importante uma vez que o cliente nem sempre dispõe das plantas do edifício e mesmo que estas sejam fornecidas à Smartwatt, é necessário transformá-las em modelos a duas dimensões manipuláveis através do software de edição. Os modelos a duas dimensões provenientes desta fase de modelação inicial, servem então como auxílio para a criação do modelo do edifício a três dimensões. Nesta fase de modelação, são utilizados vários softwares de modelação 3D entre os quais se destacam o SketchUp, o Ecotect e o DesignBuilder, cada um com as suas características descritas na secção 3.2. A escolha do software de modelação 3D vai influenciar a fase de importação do modelo para o software EnergyPlus, uma vez que alguns dos softwares de modelação a três dimensões utilizados já incluem ferramentas de simulação que lhe permitem definir os parâmetros energéticos das várias componentes do edifício no modelo. Outros softwares de modelação 3D apenas incluem funcionalidades que permitem fazer a criação da estrutura do modelo em 3D, sem suportar a inclusão dos parâmetros energéticos associados aos edifícios.

## Identificação do Problema e Arquitetura Proposta

Ao mesmo tempo que ocorre a fase de modelação, as faturas de consumo fornecidas pelo cliente e os registos de consumo obtidos pelo equipamento de monitorização, são utilizados para criar perfis de consumo. Estes perfis podem ser simples páginas de uma folha de cálculo que podem ser carregadas para o software de simulação EnergyPlus, ou descrições extensivas em texto que terão de ser inseridas manualmente no EnergyPlus.

Quando o modelo a três dimensões e o perfil de consumo do edifício estão concluídos, são enviados para o EnergyPlus onde servem de dados de entrada para a simulação. Dependendo do software de modelação 3D utilizado e do tipo de perfil de consumo, poderá ser necessário efetuar alguns ajustes por parte de um operador da Smartwatt, para garantir que o perfil energético está associado corretamente aos componentes do modelo 3D do edifício. O EnergyPlus possui um utilitário que permite ao utilizador editar os parâmetros de cada estrutura de forma individual. Este utilitário é utilizado para efetuar pequenos ajustes ou para associar perfis de consumo a modelos, no caso do software de modelação 3D utilizado não suportar a parametrização energética como é o exemplo do SketchUp.

Quando recebe os dados de entrada, o EnergyPlus realiza a simulação e devolve os resultados, que são depois agregados num relatório que é enviado para o cliente em conjunto com outros artefactos. Os certificados energéticos são emitidos pelo perito qualificado e entregues ao cliente final por intermédio da Smartwatt, após o pagamento das taxas de ADENE associadas.

### 3.2 Software de Modelação 3D Utilizado pela Smartwatt

A Smartwatt utiliza, de forma primordial, três programas de modelação 3D, cada um com as suas características que influenciam a forma como a importação dos modelos dos edifícios e dos perfis de consumo é feita para o software de simulação EnergyPlus. O software de modelação 3D é utilizado durante a fase de modelação 3D de um edifício na solução atual para auditorias e certificações energéticas de edifícios apresentada na Figura 24 da secção 3.1.

O SketchUp é um programa de modelação 3D que permite aos seus utilizadores fazer a modelação de edifícios a duas e três dimensões, estando disponível em duas versões: a versão gratuita, o SketchUp Make e a versão comercial, o SketchUp Pro [2]. O SketchUp permite fazer a modelação do edifício, ficando de fora a atribuição de parâmetros energéticos às estruturas constituintes do edifício. De modo a poder importar os modelos do SketchUp para o programa de simulação EnergyPlus, é utilizado um *plugin* denominado OpenStudio [48]. A Figura 25 apresenta a interface do programa durante a criação de um modelo de um edifício.

## Identificação do Problema e Arquitetura Proposta

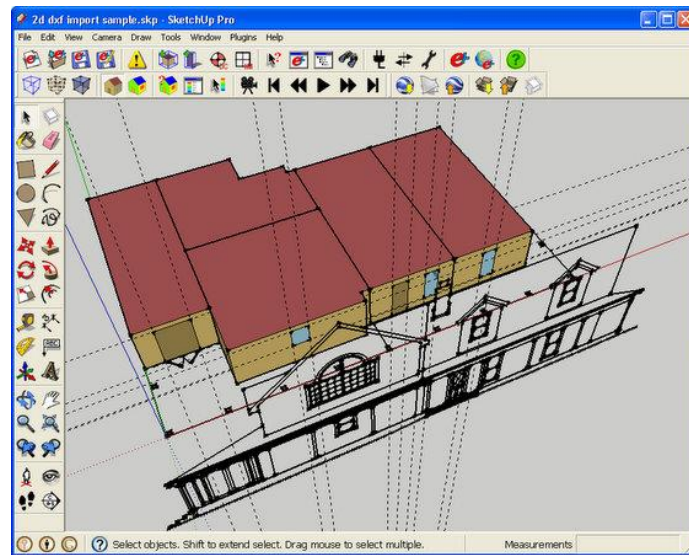


Figura 25: Criação de um modelo 3D a partir de um modelo 2D utilizando o SketchUp.

O Autodesk Ecotect é um software comercial que permite fazer a modelação dos edifícios a três dimensões e possui ferramentas de simulação [3]. Com este software é possível atribuir parâmetros energéticos aos diversos componentes do edifício que são mantidos quando o ficheiro é exportado para ser utilizado na simulação com o EnergyPlus. Entre as diversas funcionalidades do Ecotect as mais importantes são: análise da energia do edifício e do desempenho térmico, avaliação do consumo, custos de água, radiação solar, sombras e reflexões [3]. A Figura 26 apresenta a interface do programa durante a preparação de uma simulação a realizar diretamente no Ecotect.

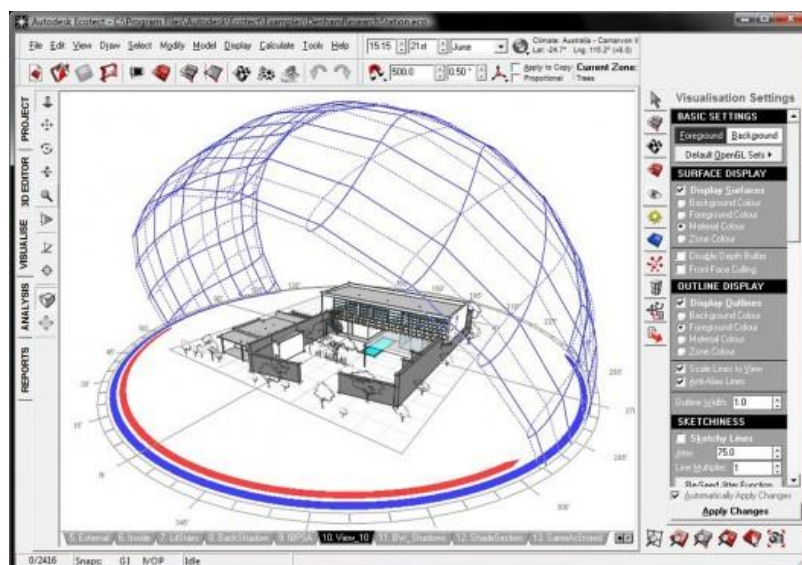


Figura 26: Preparação de uma simulação no Autodesk Ecotect. Esta simulação tem em conta a posição do sol ao longo do dia.



## Identificação do Problema e Arquitetura Proposta

O DesignBuilder [4] é um software que combina uma modelação rápida de edifícios em 3D com uma simulação energética dinâmica e fácil de utilizar, construído tendo em conta os requisitos de informação do EnergyPlus [5]. Este software inclui templates que permitem carregar modelos comuns de construções, sistemas de ventilação e ar condicionado e sistemas de iluminação [49]. O DesignBuilder utiliza o EnergyPlus como motor de simulação e apresenta os resultados de forma gráfica como se pode ver na Figura 27.

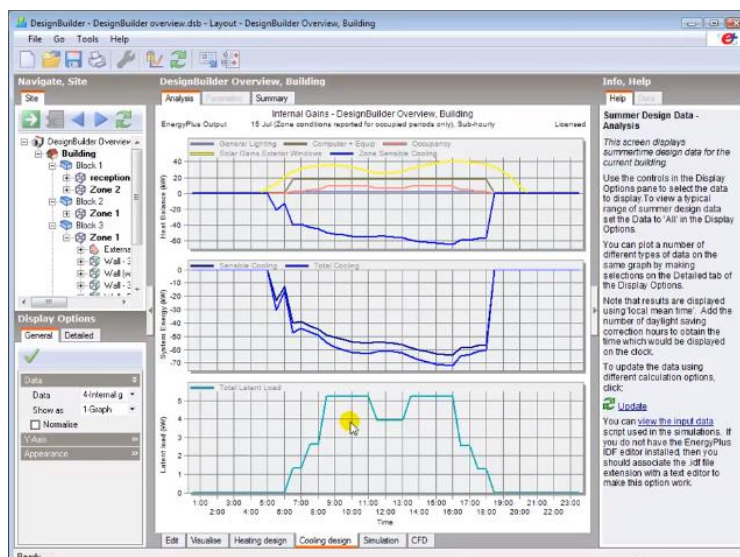


Figura 27: Resultados de uma simulação apresentados na interface do DesignBuilder. A simulação foi realizada com recurso ao EnergyPlus.

### 3.3 Solução Atual para Gestão e Monitorização Permanente do Consumo Energético de Edifícios

A solução atual da Smartwatt para fazer a gestão e monitorização permanente do consumo energético de edifícios, destina-se a edifícios em que é importante manter um registo dos consumos verificados a longo prazo. Esta solução consiste numa plataforma web na qual é possível visualizar os valores, em tempo real, registados pelo equipamento de monitorização instalado no edifício. O equipamento de monitorização limita-se a enviar a informação obtida para uma base de dados. A informação recolhida é posteriormente disponibilizada na página web correspondente, a pedido do utilizador do serviço. Esta solução inclui ainda um sistema de alertas configurável que permite detetar anomalias no consumo previsto de energia, tais como um componente que está a gastar mais ou menos energia que o esperado, ou um componente, como uma torneira, que ficou aberta por engano. O sistema de alertas permite assim que o

## Identificação do Problema e Arquitetura Proposta

cliente tenho um acesso, quase permanente, aos gastos de energia do edifício em tempo real desde que disponha de uma ligação à internet e um web browser compatível com a plataforma.

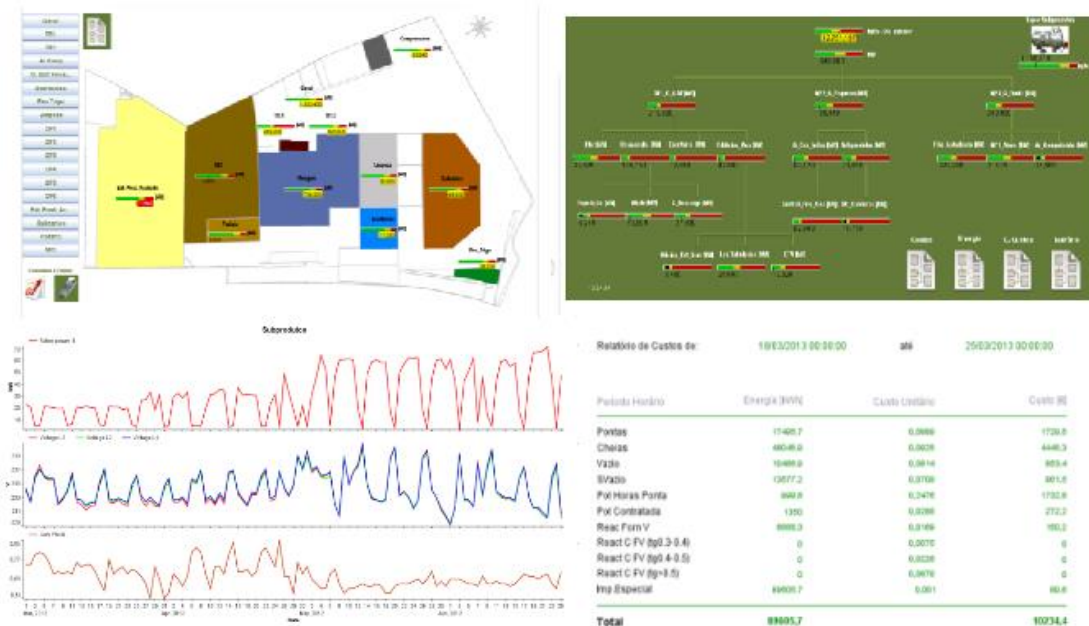


Figura 28: Interfaces e recursos disponíveis na plataforma web de gestão e monitorização permanente da Smartwatt. Da esquerda para a direita e de cima para baixo: valores de consumo instantâneo com planta do edifício, valores de consumo instantâneo com hierarquia de zonas, gráficos de consumo e relatório de consumo.

Um cliente que subscreva este tipo de serviço, terá de manter no seu edifício o equipamento de monitorização em constante funcionamento. A Figura 28 apresenta diversas interfaces e recursos disponíveis na plataforma web de gestão e monitorização permanente de edifícios na qual se incluem interfaces para visualização instantânea de valores de consumos energéticos, geração e visualização de gráficos de consumos verificados e geração de relatórios que agregam todos os consumos energéticos medidos mediante a escolha de determinados parâmetros.

### 3.4 Problemas Inerentes das Soluções Atuais

A solução atual da Smartwatt para fazer auditorias e atribuir certificados energéticos sofre de dois grandes problemas. A solução é dependente de uma plataforma não distribuída e existe uma necessidade de utilizar um sistema com grande poder de processamento para efetuar a simulação. Estes problemas apresentam um desafio em fazer a disponibilização da informação da simulação online e on-demand, em providenciar uma visualização gráfica da informação

mais eficaz e em permitir uma interação mais direta do utilizador com os resultados da simulação.

No que toca à solução atual para fazer a gestão e monitorização permanente do consumo energético de edifícios, a plataforma web apenas apresenta os valores das variáveis, registados pelo sistema de monitorização permanente, não sendo disponibilizado um modelo 3D do edifício. As soluções disponibilizadas pela Smartwatt são processadas separadamente, constituindo dois serviços independentes que podem ser agrupados numa só plataforma.

Identificou-se ainda a inexistência de ferramentas de simulação energética que permitam simultaneamente parametrizar as componentes energéticas do edifício e visualizar o seu modelo 3D sem a necessidade de ter um conhecimento profundo da ferramenta de simulação utilizada. Acrescentando a possibilidade de realizar as simulações de forma remota utilizando apenas um *browser*, surge a possibilidade de desenvolver um sistema inovador que representa um avanço no estado da arte das ferramentas de simulação energética e visualização de resultados.

### 3.5 Arquitetura da Solução

Para resolver os problemas identificados, foi desenvolvido um sistema, dando ênfase à alteração de parâmetros energéticos, execução de simulações remotas e visualização de resultados de simulações associadas a modelos de edifícios através do browser. Apesar de ter sido efetuado um estudo e proposta uma solução para o módulo de monitorização, este módulo não foi implementado pelas razões descritas na secção 6.1 do capítulo de conclusões. Para compensar, as funcionalidades implementadas para o módulo de simulação foram expandidas.

#### 3.5.1 Protótipo Vertical e Prova de Conceito da Solução

O EnergyPlus é um software de simulação energética que aborda um grande número de contextos e parâmetros de simulação, pelo que não era esperado que durante o desenvolvimento do projeto de dissertação fosse possível implementar a plataforma web proposta com suporte para todos os módulos disponíveis no EnergyPlus. De modo a provar a funcionalidade do sistema proposto, foi desenvolvida uma prova de conceito, a qual assentou numa primeira fase, no desenvolvimento de um protótipo vertical cujo objetivo era disponibilizar as funcionalidades e interfaces necessárias de modo a implementar um caso de uso geral do sistema. Assim, foi definido um caso de uso, que o protótipo vertical deveria ser capaz de satisfazer, bem como um conjunto de marcos<sup>21</sup> a atingir durante a implementação da prova de conceito. Ao caso de uso atribuiu-se o seguinte nome: “simular comportamento energético de um edifício depois de alterar a parametrização da disponibilidade do sistema de HVAC de um edifício pré-definido”.

---

<sup>21</sup> Do Inglês: Milestones.

## Identificação do Problema e Arquitetura Proposta

O caso de uso foi sugerido pelos colaboradores da Smartwatt uma vez que o sistema de HVAC abrange componentes de simulação suficientes para obter uma boa prova de conceito e apresenta resultados de simulação a curto prazo imediatamente após a alteração dos parâmetros que lhe estão associados. Os marcos definidos à priori que deveriam ser atingidos durante a implementação do protótipo da aplicação foram os seguintes:

1. Implementação da base para um visualizador de modelos 3D na web;
2. Implementação de uma base de dados simplificada;
3. Implementação da plataforma de gestão de simulações simplificada para permitir a realização de simulações.
4. Expansão do visualizador base para permitir a visualização dos resultados da simulação associados ao modelo do edifício.

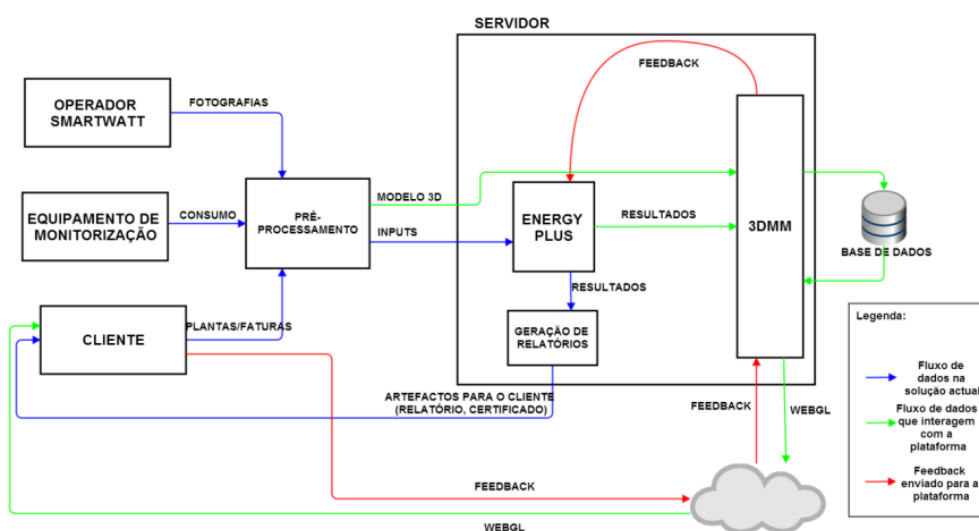
O primeiro marco abrangeu a implementação de um visualizador 3D que permitia visualizar e interagir com modelos de edificios, originalmente no formato DXF e posteriormente convertido para o formato OBJ, através do *browser*. A interface deste visualizador base pode ser vista na Figura 64 do anexo B. O segundo marco a atingir consistiu na implementação de uma base de dados simplificada na qual é guardada toda a informação necessária tal como as parametrizações energéticas do sistema de HVAC dos edificios e alguns dos resultados de simulações. O terceiro marco correspondeu à implementação da plataforma de gestão de simulações em C++. O marco final correspondeu à expansão do visualizador já implementado para permitir aos utilizadores visualizar os resultados das simulações, quer através da visualização dos modelos dos edificios associados a uma escala de cores para cada zona, como através de dados numéricos apresentados ou de gráficos gerados através da utilização das funções disponibilizadas na interface. Os marcos foram atingidos sequencialmente com o objetivo de garantir uma implementação correta e progressiva do protótipo da plataforma.

Após a implementação do protótipo vertical, foram expandidas algumas funcionalidades do mesmo principalmente no que toca a optimizações de código, organização dos elementos da interface e à inclusão de suporte para casos de uso adicionais relativos à parametrização do sistema de HVAC do edifício, tais como a definição dos *setpoints* de aquecimento e arrefecimento.

### 3.5.2 Arquitetura da Solução para Disponibilização de Serviços através da Web

De modo a poder cumprir os objetivos traçados para este projeto de dissertação, é necessário ter em atenção, que para além de ter de se garantir uma implementação correta das diversas componentes do projeto, é necessário manter, como parte integrante da nova solução, os serviços já existentes na Smartwatt. A plataforma desenvolvida, denominada de 3DMM, pretende ser um complemento do serviço atual e não um substituto. Pretende-se também que o sistema implementado possa ser utilizado noutros contextos, não se restringindo somente ao caso da Smartwatt. Os problemas identificados nas soluções da Smartwatt foram somente utilizados para justificar uma das possíveis utilizações práticas do sistema desenvolvido.

Atualmente, não é possível a um cliente da Smartwatt realizar uma simulação energética sem contactar a Smartwatt que terá de fazer a simulação numa máquina local. O 3DMM propõe-se resolver este problema, disponibilizando o serviço de simulação em conjunto com outras funcionalidades numa plataforma distribuída acessível através de um serviço web. A Figura 29 apresenta o diagrama com a visão geral da solução implementada.



*Figura 29: Diagrama geral da solução.*

A fase inicial da solução é semelhante à solução já existente na Smartwatt apresentada na Figura 24, em que são obtidos modelos 3D dos edifícios e perfis de consumo dos edifícios através de faturas de consumo energético e plantas fornecidas pelo cliente, bem como recorrendo ao registo de consumos verificados, ao longo de uma semana, obtido recorrendo ao equipamento de monitorização e fotos em alta definição do local tiradas por um operador da Smartwatt. O fluxo de dados da solução atual está representado no diagrama Figura 29 a azul e uma representação mais detalhada da fase de pré-processamento pode ser vista na Figura 30.

## Identificação do Problema e Arquitetura Proposta

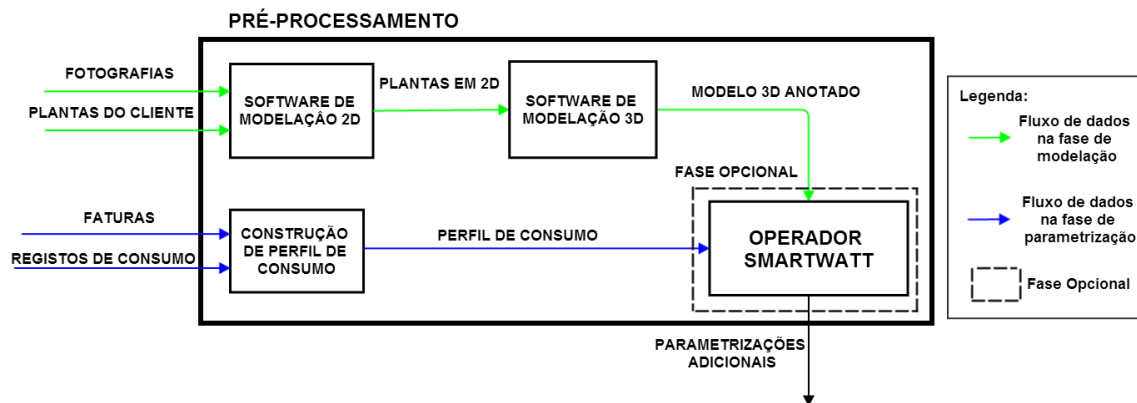


Figura 30: Bloco de Pré-Processamento.

Os resultados deste pré-processamento são utilizados para elaborar o relatório que é entregue ao cliente e também enviados para o 3DMM que agrega a informação e disponibiliza uma página web com o modelo em WebGL do edifício. De modo a permitir a visualização do modelo, são utilizados os dados de saída do EnergyPlus para mostrar os modelos dos edifícios, os quais incluem um ficheiro com informação geométrica do modelo do edifício simulado, em formato *DXF*. Este ficheiro é posteriormente convertido para o formato *OBJ*, como descrito na secção 4.1.2 do capítulo de detalhes de implementação. O cliente pode alterar os parâmetros de simulação na aplicação web e enviar pedidos de simulação para a plataforma, sendo necessário enviar feedback a vários níveis do sistema de modo a executar a nova simulação. O fluxo de dados de quando é feito um pedido de simulação ao sistema encontra-se assinalado a vermelho no diagrama da Figura 29.

O sistema proposto inclui dois modos de utilização dos quais apenas um, o modo de simulação foi implementado devido às razões descritas na secção 6.1 do capítulo de conclusões. O primeiro modo é denominado modo de simulação e permite aos utilizadores, subscritos aos serviço de simulação da Smartwatt, alterar parâmetros de simulação, executar novas simulações e visualizar os resultados de simulações através do browser, interagindo com o modelo do edifício em 3D. O segundo modo é denominado modo de monitorização e tem como objetivo permitir aos utilizadores, subscritos aos serviços de gestão e monitorização permanente da Smartwatt, visualizar as variáveis energéticas de um edifício agregadas a um modelo 3D interativo do mesmo em tempo real.

O diagrama da Figura 31 apresenta o modo de funcionamento da plataforma 3DMM quando um utilizador pretende iniciar uma nova simulação.

## Identificação do Problema e Arquitetura Proposta

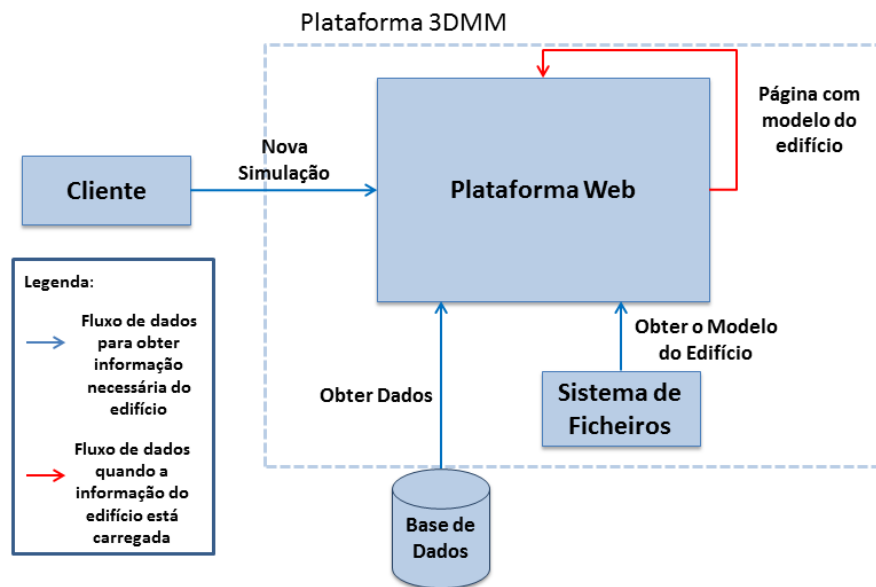


Figura 31: Funcionamento da plataforma 3DMM quando um utilizador pretende iniciar uma nova simulação.

Inicialmente é apresentada uma página de carregamento enquanto é carregada a informação necessária da base de dados e o modelo 3D do edifício do sistema de ficheiros. Quando todos os dados necessários estão carregados, é apresentada uma página que permite visualizar o modelo, efetuar parametrizações energéticas e enviar pedidos de simulação para o sistema. O diagrama da Figura 32 demonstra, com algum detalhe, o modo de funcionamento da plataforma 3DMM quando um cliente pretende usar o modo de simulação.

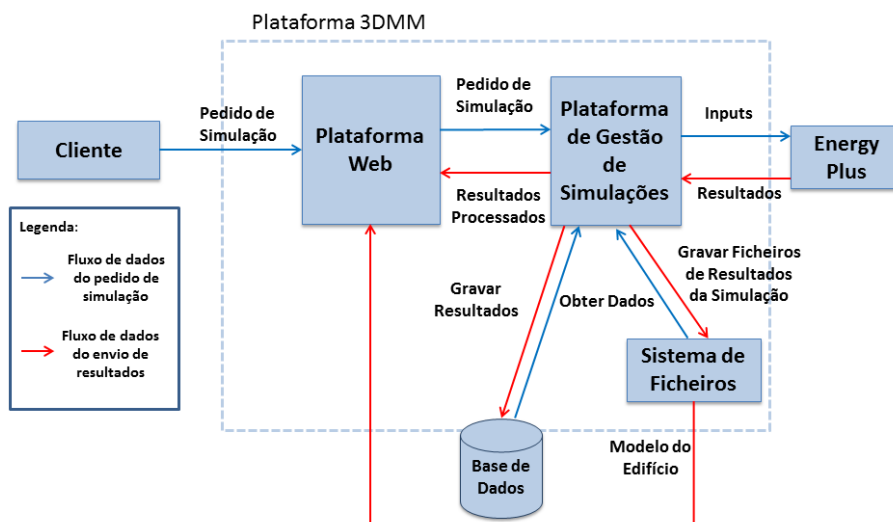


Figura 32: Funcionamento da plataforma 3DMM quando é recebido um pedido de simulação.

## Identificação do Problema e Arquitetura Proposta

Quando um cliente faz um pedido de simulação na plataforma web, depois de alterar os parâmetros energéticos associados a um edifício recorrendo à interface apropriada na aplicação web, este é reencaminhado para a plataforma de gestão de simulações que o vai interpretar e proceder conforme o tipo de pedido. Neste caso, são obtidos os dados adicionais necessários para a simulação que estão disponíveis na base de dados e no sistema de ficheiros e o pedido é enviado para o software de simulação. Os resultados são enviados para o sistema de ficheiros que irá guardar os dados da simulação e para a base de dados que irá conter apenas alguns dos resultados. Os resultados são depois enviados para o browser de modo a que o cliente os possa visualizar. Espera-se ainda, que num desenvolvimento futuro do sistema, um cliente que esteja subscrito ao serviço de monitorização permanente disponibilizado pela Smartwatt possa aceder ao modo de monitorização utilizando a plataforma 3DMM, de modo a poder visualizar, em tempo real, os valores dos parâmetros energéticos associados a um modelo 3D do edifício de forma interativa.

O diagrama da Figura 33 apresenta o modo de funcionamento que se esperava da plataforma 3DMM quando um cliente pretendesse utilizar o modo de monitorização.

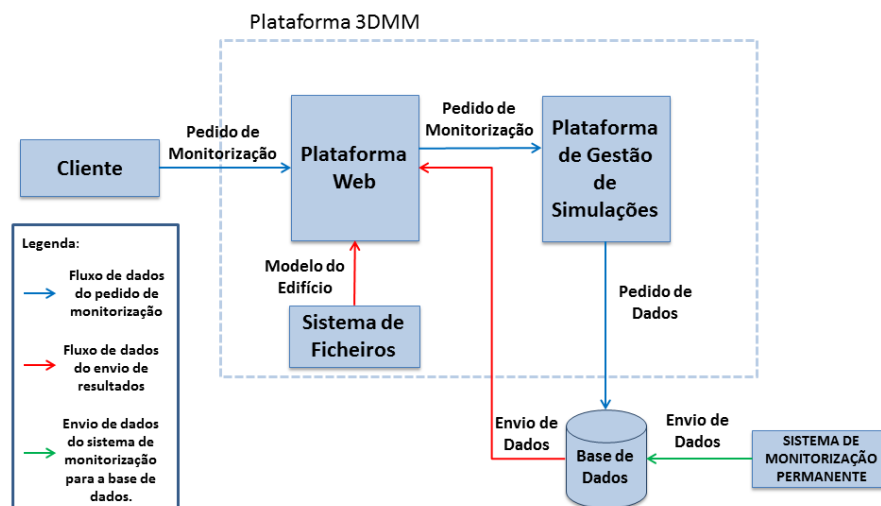


Figura 33: Funcionamento pretendido da plataforma 3DMM quando é recebido um pedido de monitorização.

Quando fosse feito um pedido de monitorização, a plataforma de gestão de simulações implementada limitar-se-ia a ler informação da base de dados, que seria constantemente alimentada por um sistema de monitorização permanente colocado no edifício. A partir deste momento, o modelo do edifício seria carregado do sistema de ficheiros e a base de dados enviaria os dados para a plataforma web de forma assíncrona recorrendo a AJAX até ao momento em que o cliente fechasse a janela do browser.



### 3.5.3 Desenho da Interface

A plataforma web referida na arquitetura de solução na secção 3.5.2., consiste principalmente num conjunto de interfaces que permite ao utilizador escolher edifícios para realizar simulações, visualizar e alterar as parametrizações energéticas desses mesmos edifícios, monitorizar o estado de cada pedido de simulação e visualizar os resultados das simulações associados aos modelos. Todas estas funções requerem a existência de uma interface interativa e o mais intuitiva possível de modo a abstrair a dificuldade subjacente do sistema que corre por trás das interfaces. Foram assim desenhadas, ao longo do desenvolvimento, várias interfaces para o sistema, as quais se apresentam na lista abaixo.

- Desenho do Visualizador Base - efetuado principalmente recorrendo a desenhos a lápis em papel, foi posteriormente implementado e utilizado como base para as páginas da aplicação web que renderizam os modelos 3D dos edifícios em WebGL. É possível ver a interface deste visualizador na secção 9.1 do anexo B.
- Primeira Iteração do Desenho da Interface da Aplicação Web - realizada após a implementação do visualizador base, foi utilizada a ferramenta web mockingbird<sup>22</sup>, para criar maquetes<sup>23</sup> da interface. A secção 9.2 do anexo B apresenta esta interface.
- Segunda Iteração do Desenho da Interface da Aplicação Web - realizada após a primeira iteração do desenho da interface após receber feedback dos colaboradores da Smartwatt. Foi utilizada a ferramenta de prototipagem lumzy<sup>24</sup>, que permitiu não só criar maquetes da interface mas também uma simulação interativa do comportamento do website com a possibilidade de partilha por url. É possível visualizar esta interface na secção 9.3 do anexo B. O protótipo interativo correspondente a esta interface encontra-se disponível no seguinte url: <http://lumzy.com/access/?id=D6D4D75FB8BCF57625D497619124DE16>.
- Interface Implementada na Aplicação Web - versão simplificada da segunda iteração do desenho da interface da aplicação web. Utiliza estilos criados propositadamente para a aplicação associados a estilos da *framework* Bootstrap. Foram também utilizados estilos da biblioteca jQuery UI para alguns componentes. A secção 9.4 do anexo B apresenta esta interface. As suas principais páginas estão também descritas na secção 4.1.1.

---

<sup>22</sup> Url da Ferramenta: <https://gomockingbird.com/>

<sup>23</sup> Do Inglês: Mockups.

<sup>24</sup> Url da Ferramenta: <http://lumzy.com/>

### **3.6 Resumo**

Este capítulo identifica as soluções existentes na Smartwatt para efetuar a simulação energética e a monitorização de edifícios. Apresentaram-se em detalhe as ferramentas de modelação 3D utilizadas pela Smartwatt, algumas das quais permitem também fazer alguma da parametrização energética necessária para correr a simulação no EnergyPlus. Apresentou-se a arquitetura do sistema implementado para a alteração de parâmetros energéticos, realização de simulações remotas e visualização de resultados associados ao modelo 3D do edifício na web, sendo também proposta uma solução para enquadrar um módulo de monitorização neste sistema. Por fim fez-se uma descrição das diferentes fases do desenho da interface feito ao longo do desenvolvimento do sistema.

## Capítulo 4

# Funcionamento Intrínseco do Sistema

O sistema desenvolvido é composto por três componentes principais: uma plataforma web, que disponibiliza as interfaces de parametrização e visualização de resultados, uma plataforma de gestão de simulações, que está encarregue de gerir e executar os pedidos de simulação e guardar os resultados num sistema de ficheiros e uma base de dados que atua como um meio de troca de informação entre as duas componentes anteriores.

Este capítulo apresenta alguns detalhes de implementação do sistema essenciais à compreensão do trabalho incluindo a explicação e avaliação de algumas das decisões tomadas. São apresentadas as funções que cada componente desempenha e as suas interações com os outros componentes do sistema. Assim, a secção 4.1 apresenta os detalhes de implementação associados à aplicação web, a secção 4.2 apresenta os detalhes de implementação associados à plataforma de gestão de simulações no servidor e a secção 4.3 apresenta uma descrição das tabelas constituintes da base de dados. Finalmente a secção 4.4 apresenta um resumo do capítulo.

### 4.1 Aplicação Web

O desenvolvimento da aplicação web foi dividido em duas partes complementares desenvolvidas em paralelo ao longo da implementação:

1. Estudo e desenho da interface da plataforma web;
2. Desenvolvimento da lógica e funcionalidades da aplicação web.

O primeiro ponto focou-se essencialmente na recolha de informação e feedback obtido em reuniões com colaboradores da Smartwatt de modo a fazer o *design* da interface da aplicação web. Foram criados vários protótipos de interface recorrendo a ferramentas apropriadas para tal, os quais são apresentados de forma mais pormenorizada no anexo B.

O segundo ponto teve como principal objetivo desenvolver uma prova de conceito do sistema, aproveitando as sugestões feitas pelos colaboradores da Smartwatt e pelo Professor Rui Rodrigues, de modo a garantir que as funcionalidades implementadas permitiam atingir os objetivos traçados.

### 4.1.1 Principais Interfaces da Aplicação Web

Nesta secção, são referidos alguns pormenores de implementação da aplicação web. São apresentadas as suas principais interfaces e funcionalidades, nomeadamente a página de parametrização de novas simulações, a página de visualização do estado das simulações na fila, a página de visualização da lista de simulações completas e a página de visualização de resultados. A interface das restantes páginas pode ser vista na secção 9.4 do anexo B. A Figura 34 apresenta um mapa do site da plataforma web implementada.

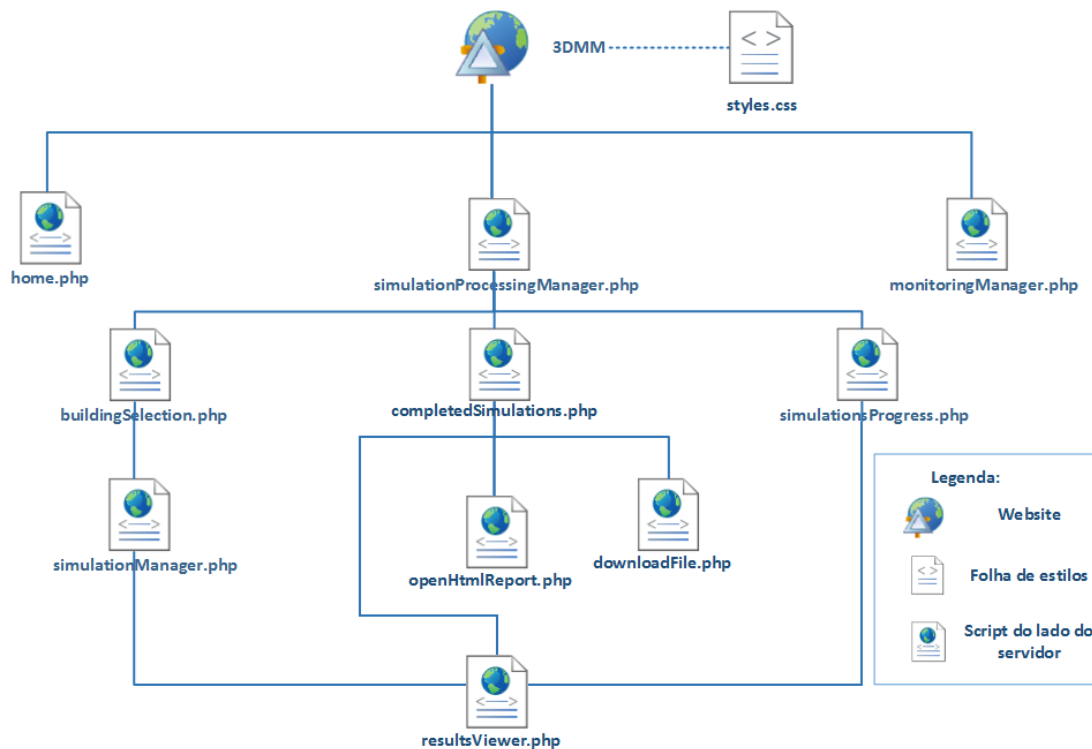


Figura 34: Mapa do site da aplicação web implementada.

Como referido anteriormente, é utilizado PHP para fazer a construção das páginas web. Para uma melhor compreensão da implementação da página web, os scripts podem ser divididos em duas categorias: scripts principais que geram o HTML das páginas web, e scripts secundários que têm como principal função obter informação da base de dados bem como efetuar algumas operações sobre estruturas de dados.

A lista seguinte descreve resumidamente cada uma das páginas PHP que constituem a aplicação web, detalhando-se de seguida as suas principais páginas assinaladas a negrito. Os nomes das páginas web foram ligeiramente alterados em relação ao apresentado na Figura 34 para facilitar a leitura.

- Home - página inicial da aplicação web, contém uma breve descrição da ferramenta bem como os seus principais objetivos tal como apresentado na Figura 78 no anexo B.
- Simulation Processing Manager - a partir desta página o utilizador pode escolher se pretende realizar uma nova simulação, se pretende visualizar a página com a lista de simulações completas ou se pretende visualizar a página com o estado das simulações que ainda se encontram na fila de espera tal como se pode ver na Figura 79 no anexo B.
- Building Selection - apresenta uma lista com os edifícios que o utilizador pode escolher para iniciar uma nova simulação. É a única página não principal que utiliza um script PHP auxiliar para retornar da base de dados a lista de edifícios disponíveis para simulação e o respetivo nome do ficheiro de dados meteorológicos. É possível ver a sua interface na Figura 81 do anexo B.
- **Simulation Manager** - apresenta uma interface que permite ao utilizador visualizar o modelo do edifício escolhido bem como alterar os seus parâmetros de simulação e enviar o pedido de simulação para o servidor. É possível ver um exemplo da interface desta página na Figura 35.
- **Result Viewer** - apresenta uma interface que permite ao utilizador visualizar os resultados das simulações no browser associados ao modelo do edifício simulado tal como se pode ver na Figura 39.
- **Completed Simulations** - apresenta uma lista de simulações completas e disponibiliza para cada uma várias opções de visualização de resultados. A Figura 37 apresenta uma possível interface desta página.

- **Simulations Progress** - disponibiliza aos utilizadores uma lista dos pedidos de simulação que ainda não foram processados apresentando informação relevante do estado de cada pedido. A Figura 37 apresenta uma possível interface desta página.

### Simulation Manager

A página **simulation manager**, também chamada de página de parametrização de novas simulações, permite aos utilizadores visualizar o modelo de um edifício e alterar algumas das suas parametrizações energéticas associadas ao sistema de HVAC. O script que constrói esta página recebe como parâmetros de entrada o nome do edifício selecionado anteriormente e o ficheiro meteorológico associado ao edifício. A página utiliza diversos scripts auxiliares para desempenhar as suas funções, os quais se descrevem na lista abaixo. Todos os scripts de acesso à base de dados da aplicação 3DMM utilizam AJAX com jQuery de modo a receber e enviar dados de forma assíncrona sem parar a execução da página.

- Read List – script PHP utilizado para preencher a lista de seleção de zonas. Recebe como parâmetro de entrada o caminho para a localização do ficheiro OBJ do edifício no servidor e retorna um Ficheiro JSON a ser lido pelo *plugin* de jquery jstree para preencher a lista de seleção de zonas.
- Get Request Status – script PHP utilizado para manter atualizadas as barras de progresso das simulações. Recebe como parâmetro de entrada um identificador de uma simulação e devolve um valor numérico com o estado da simulação.
- Insert Data In Database – script PHP que envia informação da simulação a executar para a tabela de fila de pedidos da base de dados. Atualiza também o estado da simulação na tabela de estados da base de dados. Recebe como parâmetros de entrada o nome do edifício, nome do ficheiro de dados meteorológicos, o estado e os setpoints de disponibilidade, de aquecimento e de arrefecimento do sistema de HVAC.

A Figura 35 apresenta um ecrã com a interface da página simulation manager.

## Funcionamento Intrínseco do Sistema

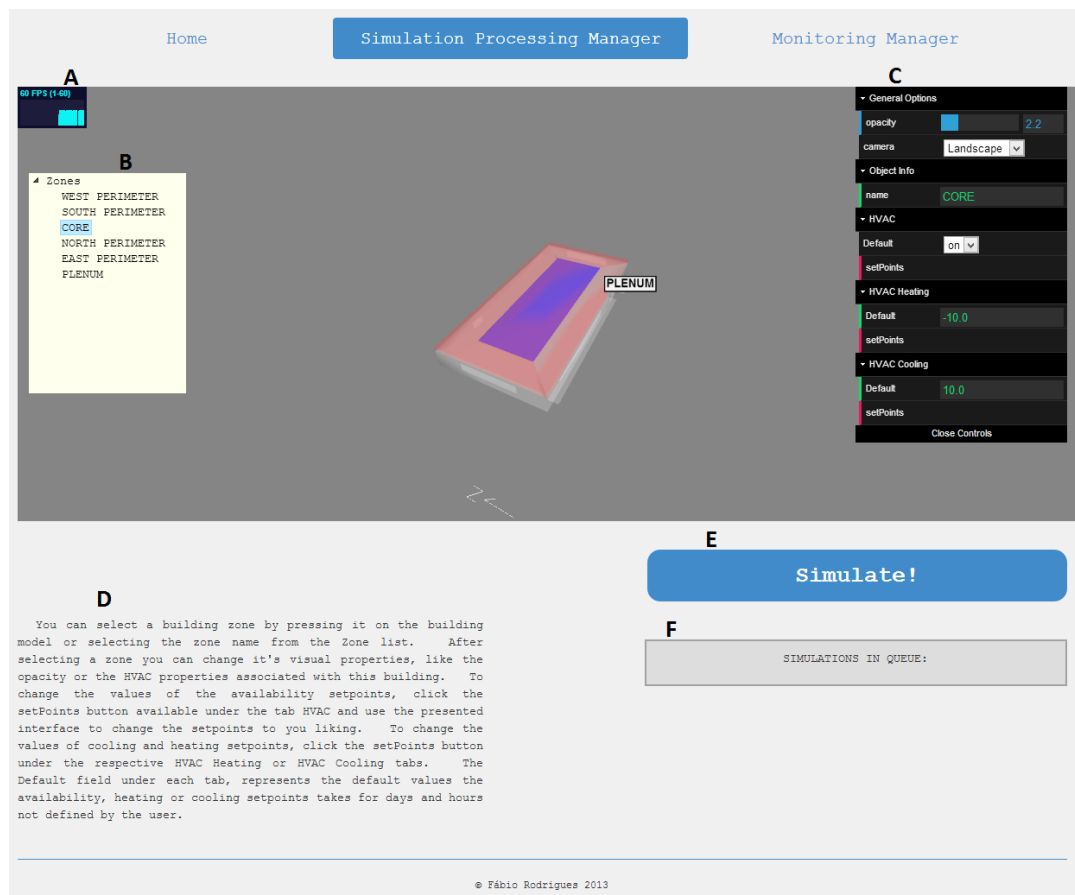


Figura 35: Página de parametrização de novas simulações. A) Contador de FPS da cena. B) Lista de seleção de zonas. C) Menu interativo de opções / visualização do valor de parâmetros. D) Texto com um resumo das funcionalidades da página. E) Botão para adicionar a simulação à lista de pedidos de simulação. F) Secção onde são colocadas as barras de progresso das simulações adicionadas à fila durante a sessão atual.

No canto superior esquerdo (A) é apresentada uma pequena *widget* disponível na biblioteca *three.js* que permite manter uma contagem dos FPS da página. Clicando na *widget* é possível visualizar a velocidade da ligação à internet.

Todas as zonas do edifício se encontram originalmente a branco sendo que o utilizador pode seleccionar uma zona do edifício de duas formas. A primeira consiste em escolher a zona a partir da lista de zonas disponível do lado esquerdo da interface (B). A segunda consiste em seleccionar a zona clicando sobre a mesma no modelo do edifício. A cor da zona altera-se de branco para azul quando uma zona é seleccionada e de branco para vermelho quando o utilizador passa com o cursor por cima da zona. Neste último caso, é também mostrada uma *tooltip* com o nome da zona sobre a qual o utilizador mantém o cursor. No caso da Figura 35, o utilizador seleccionou a zona de “CORE” e mantém o cursor sobre a zona de nome “PLENUM”. As duas formas de selecção operam entre si de modo manter atualizada a zona seleccionada em ambos os lados.

## Funcionamento Intrínseco do Sistema

Do lado direito da imagem (C) existe um menu criado com recurso à biblioteca `dat.GUI`, no qual é possível visualizar e alterar diversos parâmetros do edifício. Esta interface é composta por cinco secções quando uma zona se encontra seleccionada e por quatro secções quando não está seleccionada nenhuma zona, caso em que não é apresentada a secção com o nome da zona.

A primeira secção, designada por “General Options”, contém um *slider* que permite alterar a opacidade de todas as zonas do edifício menos da zona que se encontra seleccionada, permitindo a visualização do interior do edifício. Na Figura 35 o utilizador alterou a opacidade da cena, o que permite visualizar a zona seleccionada no interior do edifício. Esta secção contém ainda um menu *dropdown* que permite escolher o tipo de controlos. Existem dois tipos de controlos: “Landscape” e “First Person”. O primeiro está optimizado para visualizar as zonas exteriores do edifício e manipulação da posição da câmara com o rato. Já o segundo permite ao utilizador controlar a câmara com o teclado e rato e está optimizado para percorrer o interior do edifício com uma câmara numa perspetiva na primeira pessoa.

A segunda secção, chamada “Object Info”, apenas surge no caso de uma zona ter sido seleccionada e mostra o nome dessa zona.

A terceira secção de nome “HVAC Availability”, contém funcionalidades que permitem alterar a disponibilidade do sistema de HVAC. Quando o utilizador clica sobre a área da opção “setPoints” surge uma janela modal, representada na Figura 36, que permite definir de uma forma simples o horário de disponibilidade do HVAC. Na janela modal apresentada é possível definir dinamicamente um conjunto de dias e o respetivo estado da disponibilidade e horário dos *setpoints*. A janela modal em si faz parte da *framework* Bootstrap mas toda a lógica de funcionamento para a adição e remoção de dias e definição de estados e horas foi criada de raiz.

Define Availability Setpoints Schedule for HVAC

Day/Days: Weekdays

Starting at 00:00

State: Off Until: 20:00

State: On Until: 21:00

Day/Days: Sunday

Starting at 00:00

State: Off Until: 24:00

Close Remove Last Day Add Day Save changes

Figura 36: Possível interface da janela modal para definir horários de disponibilidade do sistema de HVAC.



O estado por omissão da disponibilidade do HVAC, representado no campo de nome “Default”, corresponde ao estado que o sistema deve tomar para os casos não definidos explicitamente pelo utilizador na janela modal.

A quarta e a quinta secções disponibilizam funcionalidades semelhantes à terceira secção, permitindo definir *setpoints* de aquecimento e arrefecimento do HVAC. Os *setpoints* de aquecimento e arrefecimento são os valores da temperatura a que o sistema de aquecimento e arrefecimento devem ser ligados. Nas opções disponíveis nestas secções é possível definir um valor padrão para a temperatura dos *setpoints* bem como definir horários através de um modal semelhante ao da Figura 36. Exemplos da interface destes modais estão disponíveis na Figura 84 e na Figura 85 no anexo B.

A restante página web é preenchida com um breve texto que explica as funcionalidades disponibilizadas (D), um botão para adicionar a simulação à fila de simulações do servidor assinalado (E), mensagens informativas de sucesso e insucesso da inserção do pedido de simulação na base de dados e uma secção com as barras de progresso de outras simulações iniciadas pelo utilizador na mesma sessão (F). Quando uma simulação está completa a barra de progresso torna-se clicável e o utilizador é reencaminhado para a página de visualização de resultados se clicar nelas.

### Simulations Progress

A página **simulations progress** que também pode ser chamada de página de visualização do estado de simulações na fila, disponibiliza aos utilizadores uma lista dos pedidos de simulação que ainda não foram processados, apresentando informação relevante do estado de cada pedido. A página utiliza vários scripts auxiliares que se descrevem a seguir:

- Get Simulations In Queue - script PHP utilizado para obter da base de dados a lista de pedidos ainda não processados. Não recebe parâmetros de entrada e retorna um *array* com o identificador da simulação, uma representação numérica do seu estado, o nome do edifício e a data e hora em que cada simulação foi adicionada à fila.
- Get Request Status - script PHP utilizado para manter atualizadas as barras de progresso das simulações. Recebe como parâmetro de entrada um identificador de uma simulação e devolve um valor numérico com o estado da simulação.

A Figura 37 apresenta uma possível interface da página de visualização do estado das simulações na fila quando existem dois pedidos de simulação.

## Funcionamento Intrínseco do Sistema

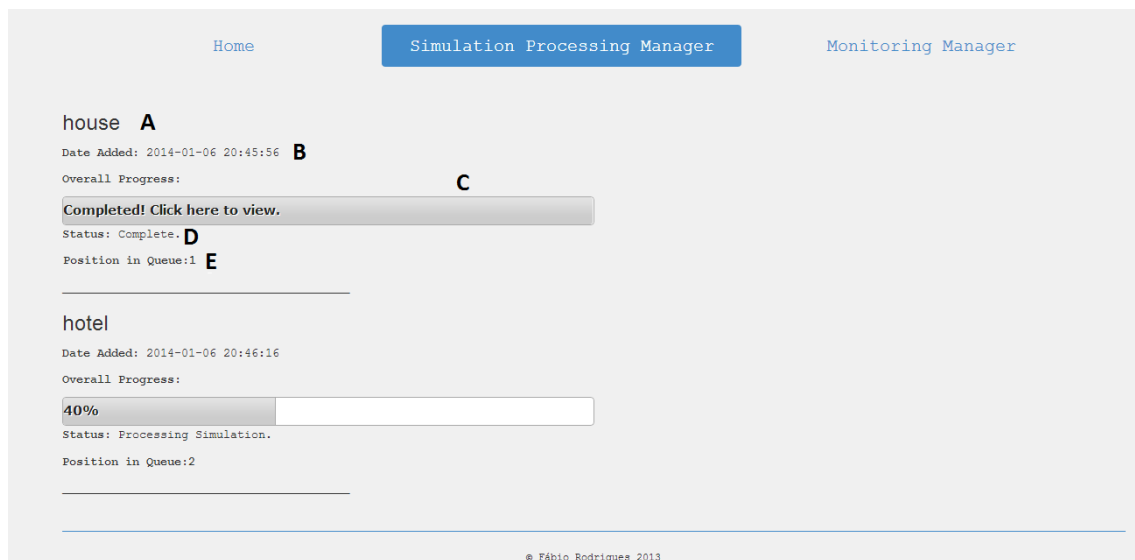


Figura 37: Interface da página de visualização do estado das simulações na fila. A) Nome do edifício. B) Data e hora em que a simulação foi adicionada à fila de simulações. C) Barra de progresso da simulação. D) Estado do pedido de simulação. E) Posição do pedido de simulação na fila.

Esta página é gerada dinamicamente e mostra vários atributos relevantes de cada pedido tais como a data em que o pedido foi adicionado ao sistema (B), a barra de progresso do pedido (C), a descrição textual do estado do pedido (D) e a posição do pedido na fila (E). Se um pedido acabar de ser processado, a barra de pedidos torna-se clicável o que permite reencaminhar o utilizador para a página de visualização de resultados. Se a página for entretanto atualizada, o pedido que acabou de ser completado não volta a aparecer, permanecendo apenas os pedidos de simulação que ainda estão por concluir.

### Completed Simulations

A página **completed simulations**, também chamada de página de visualização da lista de simulações completas, foi criada de modo a facilitar a consulta de resultados. Esta página permite aos utilizadores visualizar a lista de simulações completas e selecionar várias opções para visualizar os resultados correspondentes. A página utiliza diversos scripts auxiliares que se encontram descritos a seguir:

- Get Completed Request From Database – script PHP para obter da base de dados a lista de pedidos de simulação concluídos. Não recebe parâmetros de entrada e retorna um *array* com os identificadores das simulações, nome dos edifícios, data e hora em que as simulações foram adicionadas ao sistema e o tempo que os pedidos demoraram a ser processados.

## Funcionamento Intrínseco do Sistema

- Open Html Report – script PHP que mostra no ecrã o relatório da simulação em formato HTML gerado pelo simulador energético. Recebe como parâmetro de entrada o nome da pasta em que o relatório está guardado no sistema de ficheiros e retorna uma página com o relatório de simulação. Um exemplo de um relatório pode ser visto na Figura 91 no anexo B.
- Download File - script PHP que cria um ficheiro comprimido no formato ZIP que contém todos os ficheiros resultantes da simulação devolvidos pelo EnergyPlus. Recebe como parâmetro de entrada o nome da pasta de resultados da simulação no sistema de ficheiros e retorna o ficheiro ZIP com o conteúdo da pasta. Um exemplo do conteúdo do ficheiro ZIP pode ser visto na Figura 92 no anexo B

A Figura 38 apresenta a interface da página *completed simulations*.

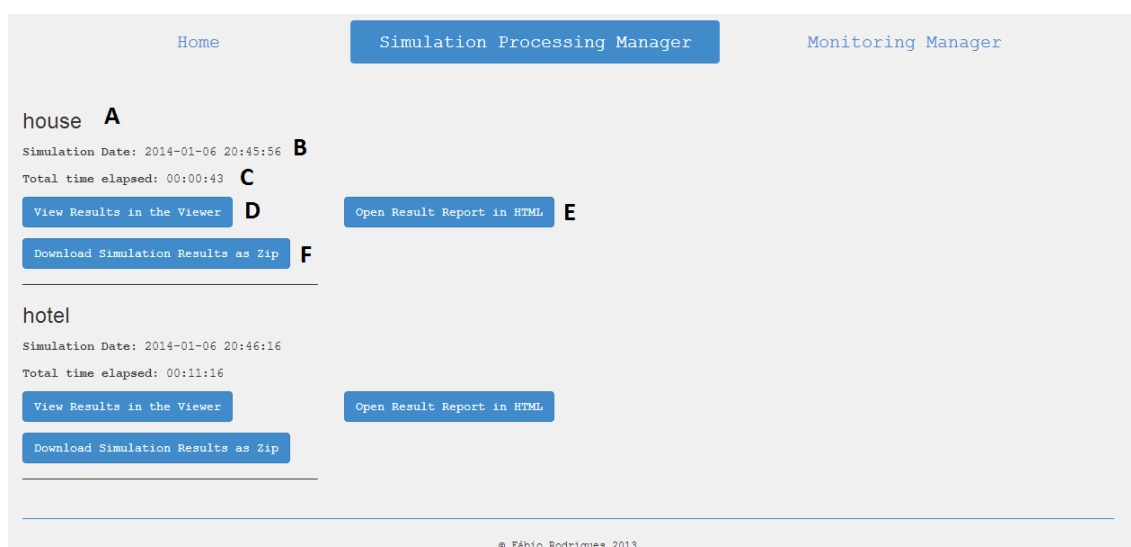


Figura 38: Interface da página de visualização da lista de simulações completas. A) Nome do edifício. B) Data e hora em que a simulação foi adicionada à fila de simulações. C) Tempo que o pedido de simulação permaneceu no edifício. D) Botão para abrir os resultados da simulação na página de visualização de resultados. E) Botão para abrir o relatório da simulação em formato HTML. F) Botão para fazer o download de um ficheiro comprimido com os ficheiros devolvidos como output pelo simulador energético EnergyPlus.

Na página de visualização da lista de simulações completas é possível visualizar, para cada simulação, o nome do edifício utilizado na simulação (A), a data e hora em que o pedido de simulação foi feito (B) e o tempo que decorreu desde que o pedido de simulação foi adicionado à fila até os resultados da simulação serem disponibilizados (C). São ainda disponibilizadas várias opções de visualização ou obtenção dos resultados das simulações, nomeadamente a visualização de resultados na página de visualização de resultados (D), a visualização do

relatório detalhado da simulação em formato HTML (E) ou a obtenção dos resultados fazendo download de todos os ficheiros de saída do EnergyPlus agrupados num ficheiro ZIP (F).

### Result Viewer

A página **result viewer** ou página de visualização de resultados tem uma estrutura muito semelhante à página de parametrização de novas simulações com alguns elementos únicos. O script que constrói esta página recebe como parâmetros de entrada o nome do edifício e o identificador correspondente à simulação cujos resultados se pretende visualizar. A lista seguinte descreve os scripts auxiliares utilizados pela página.

- Read Data From Database - script PHP que permite obter informação relativa aos resultados da simulação, fazendo uma *query* à base de dados. Como parâmetro de entrada recebe o identificador da simulação da qual se pretende obter resultados, bem como uma variável que especifica se os dados obtidos devem ser relativos a variáveis de relatório ou a variáveis de relatórios de contagem mensal. O script retorna um *array* com informação acerca das zonas, valores de atributos e outros parâmetros resultantes da simulação. O conteúdo do *array* retornado varia de acordo com os parâmetros de entrada.
- Database Result Parser – script em JavaScript que contém funções que permitem tratar a informação obtida da base de dados. Algumas das funções aqui definidas recebem como parâmetros de entrada informação obtida da base de dados, transformam-na e colocam-na em diversos *arrays* com os nomes das zonas, nomes dos parâmetros de simulação, valores dos parâmetros de simulação, dias de simulação e horas de simulação. Os *arrays* com o nome das zonas, nome e valores dos parâmetros têm o mesmo tamanho, o que também acontece com os *arrays* com a informação acerca do dia e hora da simulação. Isto significa que para ler toda a informação relativa aos resultados da simulação apenas é preciso percorrer dois *arrays* ao invés de cinco, o que aumenta o desempenho da aplicação.
- Color Generator - script em JavaScript que contém uma função que calcula a cor que uma mesh do objeto correspondente a uma zona deve tomar. A função incluída no script recebe como parâmetros de entrada um valor de um atributo de simulação, por exemplo a temperatura, o valor máximo e o valor mínimo que esse atributo toma no conjunto de resultados relativos a esse atributo, retornando o valor hexadecimal da cor que a mesh do objeto deve tomar. As cores, do menor para o maior valor do atributo são as seguintes: roxo, azul escuro, azul claro, verde, amarelo, laranja, laranja acastanhado, vermelho.

## Funcionamento Intrínseco do Sistema

- Read List - script PHP utilizado para preencher a lista de seleção de zonas. Recebe como parâmetro de entrada o caminho para a localização do ficheiro OBJ do edifício no servidor e retorna um Ficheiro JSON a ser lido pelo *plugin* de jQuery jstree para preencher a lista de seleção de zonas.

A Figura 39 apresenta uma possível interface da página Results Viewer.

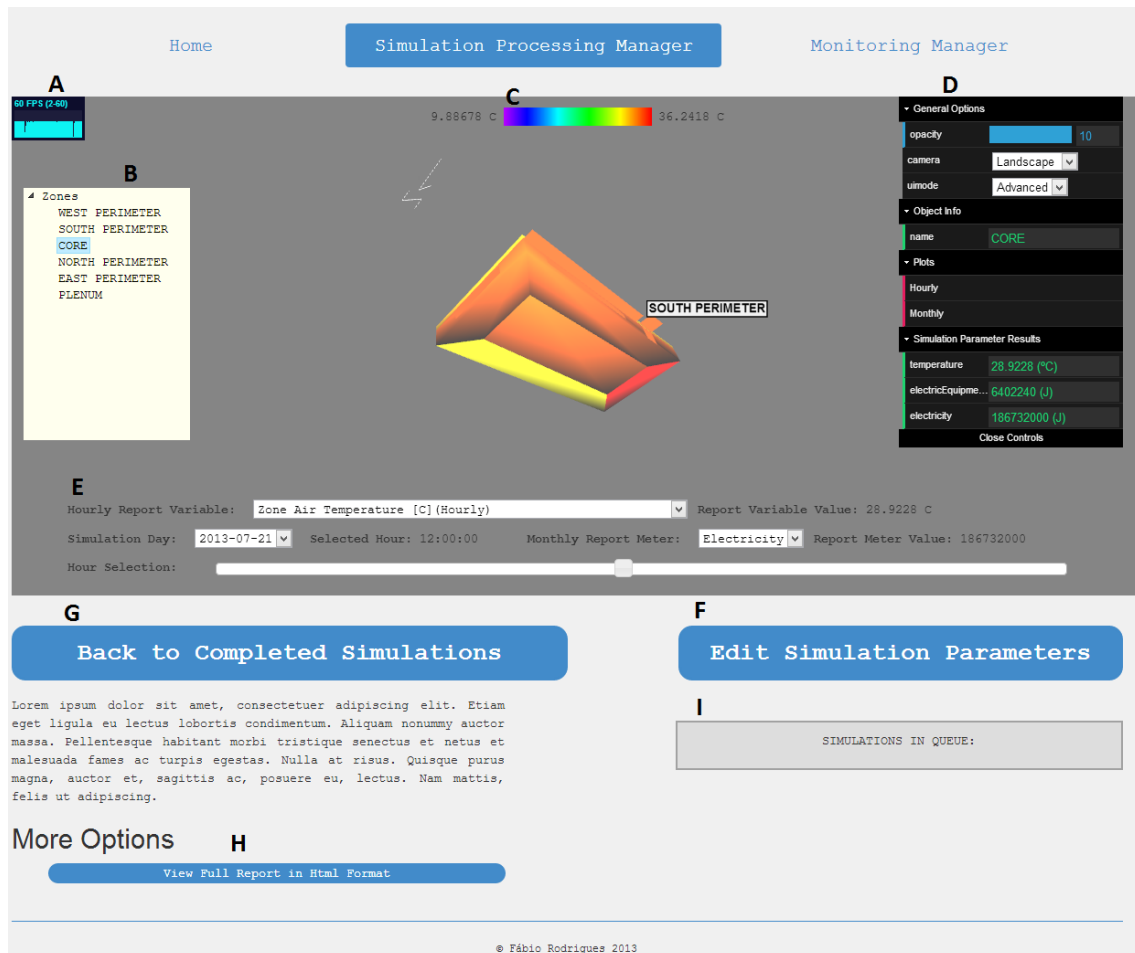


Figura 39: Interface da página de visualização de resultados. A) Contador de FPS da cena. B) Lista de seleção de zonas. C) Escala de cores das zonas do edifício com a indicação dos valores mínimo e máximo para a variável de relatório selecionada D) Menu interativo de opções / visualização do valor de parâmetros. E) Controlos de visualização de resultados no modelo do edifício. F) Botão para voltar à página de edição de parâmetros. G) Botão para voltar à página de simulações completas. H) Botão para visualizar o relatório de simulação em formato HTML. I) Secção onde são colocadas as barras de progresso das simulações do edifício que ainda se encontram na fila de simulações.

A cor das zonas do edifício na página de visualização de resultados não se altera quando o utilizador selecciona ou passa com o cursor por cima de uma zona. Nesta página as zonas a branco representam zonas para as quais não existe informação para a variável de relatório seleccionada. Contudo através da lista de selecção de zonas, da *tooltip* que surge com o nome da zona onde o cursor se encontra e com a informação disponibilizada no menu criado com a biblioteca dat.GUI (D), continua a ser fácil seleccionar e identificar as zonas que compõem o edifício.

A principal diferença entre esta página em relação à página de parametrização de novas simulações prende-se à existência de uma nova subinterface que contém os controlos de visualização de resultados no modelo do edifício, constituída por três filas (E). Esta subinterface permite escolher diversos parâmetros para visualizar os resultados da simulação. A primeira fila permite escolher a variável de relatório a que se pretende associar os resultados mostrados no edifício, bem como visualizar o valor que a variável toma na zona seleccionada do edifício. A segunda fila permite escolher o dia da simulação, que depende da parametrização feita no ficheiro de dados meteorológicos utilizado na simulação, visualizar a hora de simulação, escolher qual a variável de relatório de contagem mensal que se pretende visualizar bem como o valor que essa variável toma na zona seleccionada do edifício. A terceira fila da interface de escolha de parâmetros contém um *slider* que permite seleccionar a hora da simulação, que vai das 01:00h às 24:00h do dia seleccionado. O valor seleccionado pelo *slider* é mostrado no respetivo campo na segunda fila desta subinterface. A imagem presente na parte de cima da interface (C) representa a escala de cores e os valores de cada lado da imagem representam o valor mínimo e máximo registados para a variável de relatório seleccionada. No caso da Figura 39, a variável de relatório seleccionada é a temperatura da zona que varia entre um valor mínimo de 9,88678 °C e um valor máximo de 36,2418 °C para o período temporal simulado.

À semelhança do que acontecia na página de edição de parâmetros, o menu criado com a biblioteca dat.GUI (D) contém várias secções que disponibilizam diversas funcionalidades.

As opções disponíveis na primeira secção designada por “General Options”, são exatamente iguais ao que foi descrito anteriormente excepto a última opção de nome “uimode”, que permite escolher entre um modo simples e outro avançado da interface. No modo simples a interface de escolha de parâmetros (E) é simplificada tal como apresentado na Figura 94. No modo avançado são apresentadas todas as opções disponíveis tal como apresentado na Figura 93.

A segunda secção apresenta apenas o nome da zona seleccionada.

A terceira secção do menu (D) de nome “Plots” apresenta duas opções clicáveis, “Hourly” e “Monthly”. A opção “Hourly” apresenta numa janela modal um gráfico de linhas com a variação dos valores da variável de relatório seleccionada para todas as horas do dia seleccionado, tal como se pode ver na Figura 40. A opção “Monthly” apresenta numa janela modal um gráfico de barras com os valores da variável de relatório de contagem mensal representantes do consumo acumulado num mês ao longo do ano. A Figura 41 apresenta o gráfico de barras criado

## Funcionamento Intrínseco do Sistema

correspondente aos gastos mensais da variável de relatório de contagem mensal da eletricidade. Dentro da janela do modal estão disponíveis opções para restringir o conjunto de dados mostrados no gráfico e para guardar uma cópia em diferentes formatos.

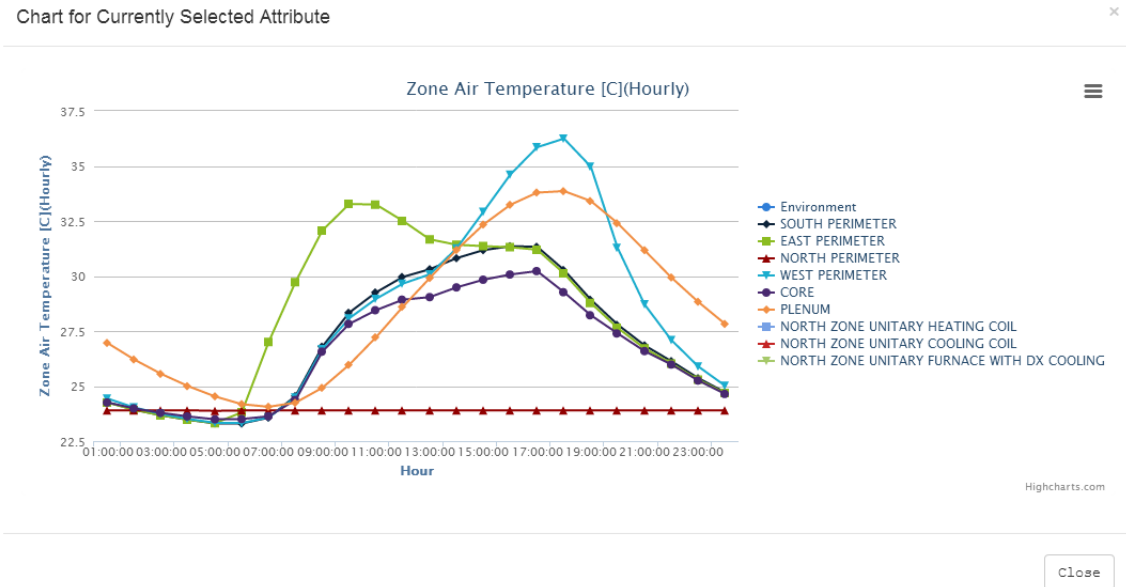


Figura 40: Gráfico de linhas gerado para as temperaturas esperadas das zonas.

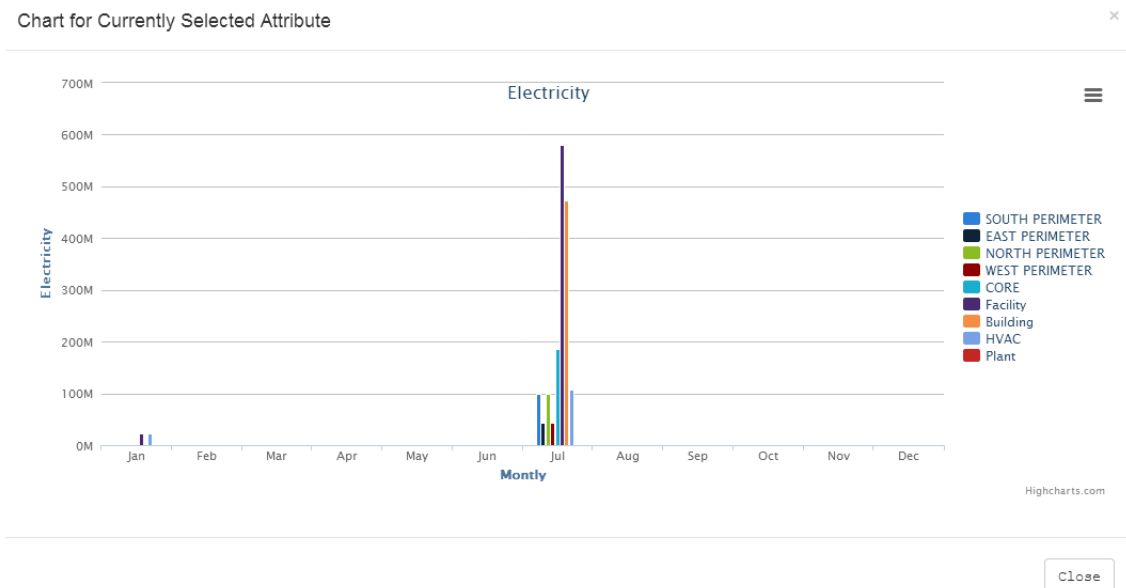


Figura 41: Gráfico de barras gerado para os gastos de eletricidade verificados mensalmente ao longo do ano. Apenas são apresentados dados para dois meses uma vez que a simulação só foi feita para um dia de inverno em janeiro e um dia no verão em julho.

A quarta secção da subinterface dat.GUI (D), de nome “Simulation Parameter Results”, apresenta o valor da temperatura horária da zona, o valor dos gastos horários de equipamentos elétricos da zona e o valor mensal dos gastos de eletricidade de forma simultânea. Ao contrário da interface de seleção de parâmetros (E) onde é possível selecionar parâmetros para visualizar os resultados no modelo do edifício e gerar gráficos, a alteração dos parâmetros energéticos mostrados no menu criado com a biblioteca dat.GUI (D) não tem qualquer efeito.

A restante página web apresenta a lista de simulações na fila (I) e botões para voltar à página com a lista de simulações completas (G), para voltar à página de definição de parâmetros do edifício (F) e para visualizar o relatório da simulação em formato HTML (H).

### 4.1.2 Conversão de Ficheiros de Modelos de Edifícios

A biblioteca three.js disponibiliza alguns utilitários de nome *loaders* que permitem carregar modelos 3D em vários formatos entre os quais o formato OBJ. O formato disponibilizado pelo EnergyPlus e utilizado pelos colaboradores da Smartwatt para alimentar o EnergyPlus com a informação geométrica dos edifícios é o formato DXF. Existe assim uma necessidade de converter o ficheiro geométrico utilizado pela Smartwatt do formato DXF para o formato OBJ de modo a poder carregar o modelo no browser.

Um dos programas de modelação utilizado pela Smartwatt, o SketchUp, permite carregar modelos em formato DXF e guardar o mesmo modelo em formato OBJ. Contudo existem dois problemas com esta abordagem. Em primeiro lugar, o conversor só está disponível na versão *premium* do SketchUp a qual não é utilizada pela Smartwatt. Para além disso o ficheiro OBJ criado não é construído de forma a manter a interdependência das *meshes* constituintes do objeto, o que faz com que o ficheiro final contenha apenas uma *mesh* que corresponde a todo o objeto.

De modo a possibilitar a conversão de ficheiros foram então utilizadas duas ferramentas de uso gratuito: o AutodeskFBX Converter 2013 e o Blender.

O AutodeskFBX Converter 2013 é um utilitário que permite converter ficheiros de vários formatos para o formato FBX com o principal objetivo de garantir interoperabilidade entre os formatos utilizados pelas ferramentas da autodesk [60]. O ficheiro FBX devolvido pelo conversor pode depois ser carregado no Blender, um programa de modelação 3D que permite carregar e criar modelos 3D e animações e exportar cenas em vários formatos utilizando scripts em python [61]. Com o Blender o modelo do edifício pode ser alterado se desejado e exportado no formato OBJ mantendo a independência entre as *meshes* o que garante um correto funcionamento das técnicas de *picking* no Three.js. Este processo tem de ser realizado apenas uma vez por edifício estando a sua automatização prevista nos desenvolvimentos futuros da plataforma.



## 4.2 Plataforma de Gestão de Simulações no Servidor

A plataforma de gestão de simulações no lado servidor é composta por um sistema de ficheiros<sup>25</sup> e por uma aplicação de gestão de simulações escrita em C++ encarregue de gerir a execução das simulações energéticas dos edifícios de acordo com as parametrizações definidas pelo utilizador na aplicação web.

### 4.2.1 Sistema de Ficheiros

De forma a otimizar o desempenho do sistema e a eficiência no acesso à base de dados, foi criado um sistema de ficheiros no qual são guardados os ficheiros de entrada e saída das simulações bem como os modelos dos edifícios. Na base de dados apenas são gravados os nomes dos ficheiros de entrada e saída do EnergyPlus e o nome do modelo do edifício estando o sistema implementado encarregue de ler os ficheiros corretos do sistema de ficheiros. Os ficheiros de resultados de simulações são gravados na sua totalidade no local apropriado do sistema de ficheiros e apenas algumas variáveis de resultados são lidas destes ficheiros e gravadas na base de dados. A Figura 42 apresenta um esquema de pastas em árvore simplificado do sistema de ficheiros utilizado pela aplicação.

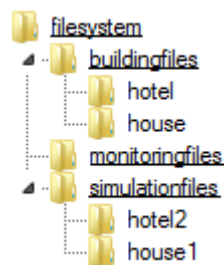


Figura 42: Vista em árvore simplificada do conteúdo do sistema de ficheiros depois de efetuadas duas simulações. As pastas cujo nome está sublinhado correspondem à estrutura base do sistema de ficheiros.

A pasta “buildingfiles” contém os ficheiros necessários ao funcionamento da aplicação tal como o ficheiro IDF da simulação original, o ficheiro de dados meteorológicos e o ficheiro OBJ com o modelo 3D do edifício. A pasta “simulationfiles” contém subpastas que albergam os ficheiros resultantes das simulações efetuadas. O nome destas subpastas é gerado utilizando o identificador da simulação na base de dados e o nome do edifício garantindo a sua unicidade.

<sup>25</sup> Do Inglês: Filesystem.

## 4.2.2 Aplicação de Gestão de Simulações no Servidor

A aplicação de gestão de simulações que corre em permanência no servidor, foi escrita em C++ e tem como principal objetivo obter informação acerca das simulações a realizar, nomeadamente as parametrizações associadas a um edifício elaboradas pelos utilizadores e correr instâncias do EnergyPlus com os ficheiros de entrada corretos de modo a obter os resultados da simulação que posteriormente são guardados no sistema de ficheiros e na base de dados. A Figura 43 apresenta o diagrama UML das classes que constituem a aplicação. As setas apontam da classe incluída para a classe que utiliza a classe apontada. Neste caso, a classe “3dmmSimulationManager” inclui as classes “EplusConnection”, “CsvParser” e “IdfParser”. Já a classe “IdfParser” inclui a classe “IdfObject”.

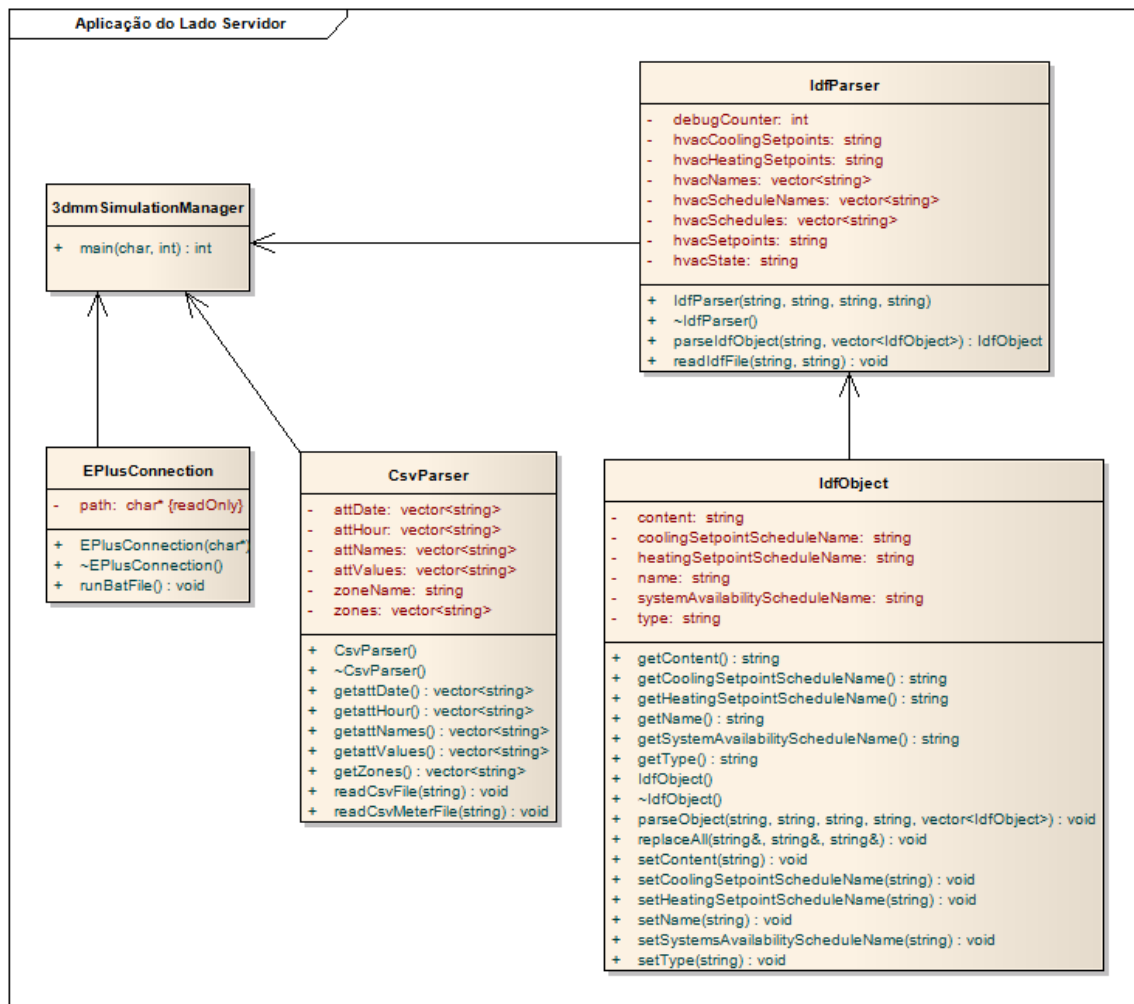


Figura 43: Diagrama UML de classes da aplicação de gestão de simulações no servidor.

No desenvolvimento da aplicação de gestão de simulações, foi tido em atenção a modularização do código de modo a facilitar a compreensão do seu funcionamento e desenvolvimentos futuros. Assim, foi adotado um padrão de *design* que consiste numa

simplificação do *Factory Method*. Neste padrão de *design* é definida uma interface para a criação de um objeto mas são as subclasses a decidir qual a classe a instanciar [66]. No caso da aplicação de gestão de simulações em vez de uma classe aplica-se este conceito a métodos. Assim existe uma função que chama determinado método conforme o tipo de objeto IDF que recebe. O método chamado está encarregue de interpretar o conteúdo do objeto IDF recebido.

A lista seguinte descreve resumidamente as principais funções de cada uma das classes, passando-se de seguida a uma descrição mais pormenorizada do funcionamento da aplicação de gestão de simulações no servidor.

- **3dmmSimulationManager** - classe que contém o método *main* que por sua vez controla do fluxo de informação durante a execução da aplicação.
- **EPlusConnection** - tem como principal objetivo correr uma instância do EnergyPlus de modo a efetuar uma simulação energética.
- **IdfParser** - classe encarregue de ler o ficheiro IDF original e criar um novo ficheiro IDF a ser utilizado na simulação de acordo com as parametrizações feitas pelo utilizador do lado da aplicação web.
- **IdfObject** - classe encarregue de interpretar o conteúdo de cada objeto IDF e aplicar as parametrizações feitas pelo utilizador do lado da aplicação web.
- **CsvParser** - classe que lê o conteúdo dos ficheiros CSV gerados com os resultados das simulações para as variáveis de relatório e para as variáveis de relatório de contagem mensal.

### **3dmmSimulationManager**

A classe **3dmmSimulationManager** contém o método *main* e define o modo de funcionamento base da aplicação de gestão de simulações descrito no Algoritmo 1.

1. Se não existirem pedidos na fila então verificar a fila novamente dentro de 10 segundos;
2. Se existe um ou mais pedidos na fila e está a ser processado um pedido atualmente, então esperar que o pedido atual acabe de ser processado.
3. Se existe um ou mais pedidos na fila e não está a ser processado nenhum pedido atualmente, então começar a processar o primeiro pedido da fila.
4. Ler informação da base de dados relativa ao pedido a ser processado atualmente.
5. Procurar o ficheiro IDF da simulação original no sistema de ficheiros.
6. Escrever um ficheiro IDF temporário, baseado no ficheiro IDF original, de acordo com as parametrizações definidas pelo utilizador na plataforma web.

## Funcionamento Intrínseco do Sistema

7. Correr uma instância do EnergyPlus com o ficheiro IDF temporário e com o ficheiro de meteorologia correto.
8. Quando a simulação estiver concluída, guardar os resultados no local apropriado do sistema de ficheiros.
9. Enviar para a base de dados os resultados das variáveis de output requisitadas.
10. Apagar o pedido da tabela de fila de simulações da base de dados.
11. Repetir o processo desde o primeiro ponto.

*Algoritmo 1: Algoritmo geral da aplicação de gestão de simulações.*

### EPlusConnection

A classe **EPlusConnection** tem como principal objetivo correr o ficheiro RunEPlus.bat que vem incluído na instalação do EnergyPlus e que por sua vez inicia o EnergyPlus e realiza a simulação pretendida. O ficheiro RunEPlus.bat é o ficheiro utilizado para correr o EnergyPlus através da consola, e recebe originalmente dois parâmetros de entrada, o nome do ficheiro IDF com as parametrizações energéticas do edifício e o nome do ficheiro EPW, que contém os dados meteorológicos.

O conteúdo do ficheiro RunEPlus.bat foi ligeiramente alterado para funcionar corretamente com o sistema implementado. Assim, para além da alteração de alguma da codificação interna do ficheiro BAT, foram acrescentados dois parâmetros de entrada, passando o ficheiro a receber quatro parâmetros de entrada. Os parâmetros de entrada adicionados correspondem aos nomes da pasta com informação do edifício e da pasta onde os resultados da simulação devem ser guardado no sistema de ficheiros descrito na secção 4.2.1. As pastas com informação dos edifícios estão contidas na pasta “buildingfiles” e as pastas com os resultados das simulações estão contidas na pasta “simulationfiles” do sistema de ficheiros, como apresentado na Figura 42.

### Algoritmo para Parametrização de Simulações

Tendo em conta a estrutura de um objeto IDF descrita na secção 2.1.4, foi definido um algoritmo que permite fazer a leitura e alteração dos parâmetros de um ficheiro IDF. Este algoritmo foi implementado através da junção das funcionalidades das classes **IdfParser** e **IdfObject** as quais são descritas nas secções 0 e 0 respetivamente. O pseudo-algoritmo do algoritmo implementado é o seguinte:

1. Obter da base de dados as parametrizações definidas pelo utilizador;
2. Criar um ficheiro IDF temporário, que irá conter as novas parametrizações no formato correto;
3. Começar a ler o ficheiro IDF da simulação original;

4. Guardar o tipo do objeto IDF a ser lido atualmente e verificar se a aplicação consegue interpretar o mesmo;
5. Se o tipo de objeto é desconhecido, copiar todo o objeto IDF do ficheiro original para o novo ficheiro IDF e voltar ao passo 4 para o objeto seguinte, senão seguir para o passo 6;
6. Se o tipo de objeto é conhecido, verificar que tipo de objeto é e passar para o passo 7;
7. De acordo com o tipo de objeto identificado alterar, se necessário, a parametrização do objeto original e escrever o resultado no ficheiro IDF temporário;
8. Se for encontrado um ponto e vírgula, voltar ao ponto 4 e repetir o processo até ao fim do ficheiro.
9. No fim do processo o ficheiro de IDF temporário contém as parametrizações definidas pelo utilizador e está pronto a ser utilizado pelo EnergyPlus.

*Algoritmo 2: Algoritmo de leitura e alteração de parâmetros energéticos utilizando ficheiros IDF.*

### **IdfParser**

A classe **IdfParser** desempenha duas funções essenciais. A primeira é abrir o ficheiro IDF da simulação original do edifício elaborado pela Smartwatt e criar um novo IDF temporário que vai conter uma cópia do ficheiro original mas com os parâmetros energéticos definidos pelo utilizador na aplicação web. A segunda função corresponde ao processamento de cada objeto IDF contido no ficheiro. A classe **IdfParser** deteta o início de cada objeto IDF e obtém o tipo de objeto, o que corresponde à primeira linha do objeto IDF. Seguidamente é criada uma instância da classe **IdfObject**, que dado um tipo de objeto é capaz de processar o seu conteúdo. Quando o processamento está completo o objeto IDF é escrito no novo ficheiro e o processo é repetido até o ficheiro IDF original ser completamente processado.

### **IdfObject**

A classe **IdfObject** atua como um auxiliar da classe **IdfParser** de modo a processar o conteúdo dos objetos IDF lidos, recebendo o tipo e o conteúdo do objeto IDF a ser processado atualmente bem como as parametrizações definidas pelo utilizador na aplicação web, neste caso os horários de disponibilidade e a definição dos horários dos *setpoints* de aquecimento e arrefecimento do HVAC. Dependendo do tipo de objecto a ser processado a classe comporta-se de forma diferente. Se o tipo de objeto for conhecido, ou seja, se o tipo de objeto se encontra na lista de objetos que a aplicação é capaz de processar então o objeto é processado de modo a refletir as novas parametrizações e escrito no ficheiro IDF temporário. Se o tipo de objeto for desconhecido, então o objeto é copiado na sua totalidade do ficheiro IDF original para o ficheiro IDF temporário.

## CsvParser

A classe **CsvParser** tem como objetivo ler os resultados da simulação do EnergyPlus tanto das variáveis de relatório como das variáveis de relatórios de contagem. O EnergyPlus disponibiliza uma aplicação de pós-processamento, o ReadVarsESO, que lê o ficheiro de saída padrão do EnergyPlus com a extensão ESO e gera ficheiros de resultados com a extensão CSV. Ao ativar esta opção de pós-processamento no ficheiro RunEPlus.bat, é possível gerar ficheiros CSV para cada conjunto de resultados. A classe **CsvParser** é capaz de abrir e interpretar o conteúdo dos ficheiros relativos aos resultados para as variáveis de relatório e para as variáveis de relatórios de contagem e guardar a informação recolhida em vetores para facilitar a sua inserção na base de dados.

A Figura 44 e a Figura 45 apresentam, respetivamente, o conteúdo da consola de execução da aplicação de gestão de simulações quando esta é lançada e começa a atender os pedidos de simulação existentes na tabela de fila de simulações e quando um pedido de simulação energética é concluído. O texto não apresentado corresponde a informação escrita pelo EnergyPlus.

```
Disable connection to database for testing purposes? <y>
n
There are 2 requests in queue.
. id = '1'
. idfFileName = 'house'
. weatherFileName = 'USA_CA_San.Francisco.Intl.AP.724940_TMY3'
. hvacState = 'on'
. hvacSetpoints = ''
. hvacHeatingSetpoints = ''
. hvacCoolingSetpoints = ''
. dateAdded = '2014-01-04 20:51:59'
Parsing Input Files...
HVAC TURNED ON
===== C://EnergyPlusV8-0-0//RunEPlus.bat <Run EnergyPlus> houseTemp USA_CA_San.F
rancisco.Intl.AP.724940_TMY3 house ===== Start =====
```

Figura 44: Conteúdo da consola apresentado quando a aplicação de gestão de simulações é lançada. A aplicação começa imediatamente a atender os pedidos da fila de simulações.

```
===== C://EnergyPlusV8-0-0//RunEPlus.bat houseTemp ===== Complete =====
Processed request with id 1 was deleted from queue.
1 values deleted from table simulationqueue
Writing simulation results to Database...
Processing debug.csv
Added 2496 rows to table 'completedsimulations'.
Processing debugMeter.csv
Added 22 rows to table 'completedsimulations'.
Updated 1 rows of the simulations status. Simulation id was 1.
Done.
```

Figura 45: Conteúdo da consola apresentado quando um pedido é concluído na aplicação de gestão de simulações.

### 4.3 Base de Dados

A base de dados MySQL da aplicação é constituída por quatro tabelas independentes. Cada tabela tem uma função específica essencial ao fluxo de informação entre as várias componentes da aplicação 3DMM. As subsecções seguintes explicam mais detalhadamente o conteúdo e a função desempenhada por cada uma das tabelas.

A tabela **simulationqueue** funciona como uma fila de pedidos. Quando um utilizador da aplicação web submete um novo pedido de simulação, toda a informação necessária ao processamento e parametrização do sistema de HVAC é adicionada a esta tabela. A aplicação do lado servidor lê os pedidos desta tabela por ordem de chegada e executa as respetivas simulações.

A tabela **simulationstatus** contém informação relativa ao estado dos pedidos. A informação contida nesta tabela é usada principalmente para informar o utilizador do estado das simulações requisitadas através de barras de progresso que podem ser visualizadas em diversas páginas da aplicação web. O estado de um pedido é representado por um número de um a cinco. A lista seguinte contém o significado de cada um dos cinco números atribuídos ao estado de um pedido de simulação.

1. Simulação na fila de espera.
2. A processar simulação.
3. A processar os resultados da simulação.
4. A escrever os resultados da simulação na base de dados.
5. Simulação Completa.

A tabela **permanentinfo** contém informação que não deve ser apagada da base de dados uma vez que os dados que a tabela contém são essenciais para o funcionamento do sistema. É nesta tabela que se encontram os nomes dos edifícios e dos ficheiros de meteorologia (ficheiros EPW) associado ao edifício, parâmetros que são necessários para correr simulações no EnergyPlus.

A tabela **completedsimulations** contém os resultados das simulações, nomeadamente das variáveis de relatório e das variáveis de relatórios de contagem, realizadas pela plataforma. É a partir desta tabela que a aplicação web obtém a informação necessária para apresentar os resultados das simulações associados aos modelos 3D dos edifícios na página de visualização de resultados.

## 4.4 Resumo

O capítulo 4 apresentou os detalhes de implementação mais importantes da prova de conceito desenvolvida que se dividem pela aplicação web, aplicação de gestão de simulações no servidor e base de dados cuja interação define o funcionamento do sistema. A leitura deste capítulo é essencial para a compreensão do modo de funcionamento do sistema e das decisões de implementação tomadas. Alguns pormenores, tais como a explicação das *queries* utilizadas para obter dados da base de dados, foram omitidos uma vez que constituem pormenores não essenciais à compreensão do sistema implementado.



## Capítulo 5

# Testes e Resultados

O capítulo que se segue tem como objetivo comprovar o correto funcionamento do sistema implementado através da obtenção e análise de resultados. A secção 5.1 inclui testes realizados num edifício simples de forma a facilitar a compreensão dos resultados. Na secção 5.1.1 é feita uma descrição do edifício e de alguma parametrização a usar nos casos de teste. Na secção 5.1.2 definem-se casos de teste para testar a parametrização da disponibilidade do sistema de HVAC e são analisados os resultados de cada um dos casos de teste. Na secção 5.1.3 definem-se casos de teste para testar a parametrização dos *setpoints* de aquecimento e arrefecimento do HVAC e são analisados os resultados de cada um dos casos de teste. A secção 5.2 contém alguns testes e resultados relativos ao desempenho da aplicação e a secção 5.3 contém um resumo do capítulo.

### 5.1 Testes com Simulação Energética Simples

De modo a averiguar se o sistema desenvolvido se comporta como esperado, são definidos nesta secção casos de teste correspondentes a possíveis interações que os utilizadores têm com o sistema. Os casos de teste definidos nesta secção têm por base um ficheiro IDF modificado a partir do exercício 2A disponibilizado nas pastas de exemplos do EnergyPlus 8.0.0. A análise dos resultados dos casos de teste utiliza os resultados obtidos para a variável de relatório da simulação que representa a temperatura de cada zona.

#### 5.1.1 Descrição do Edifício e Parametrização a Usar nos Casos de Teste

O edifício a utilizar é um edifício rectangular com um único andar e cinco zonas, das quais quatro são exteriores e uma é interior. Uma única zona, denominada “NORTH PERIMETER”, é condicionada com um sistema de HVAC com arrefecimento eléctrico e aquecimento a gás. Estão definidos dois dias para teste. O primeiro é um dia de inverno com a data de 21/1 e com

## Testes e Resultados

uma temperatura exterior mínima de  $-18.10^{\circ}\text{C}$  e um valor de variação da temperatura de 0. O segundo é um dia de verão com a data de 21/7 e uma temperatura exterior com um máximo de  $31.30^{\circ}\text{C}$  e um valor de variação de temperatura de  $10.9^{\circ}\text{C}$  que se traduz numa temperatura exterior mínima registada de  $20,4^{\circ}\text{C}$ . De modo a reduzir o volume de resultados apenas serão comparados os resultados correspondentes ao dia de verão.

### 5.1.2 Testes à Parametrização da Disponibilidade do Sistema de HVAC

A Tabela 11 apresenta a descrição de três casos de teste definidos para verificar se os resultados dados pela aplicação 3DMM quando a disponibilidade do sistema de HVAC do edifício é alterada vão de encontro ao valor teórico esperado.

*Tabela 11: Descrição dos casos de teste 1, 2 e 3.*

Nome do caso de teste	Estado do sistema de HVAC	Valor Teórico Esperado
Caso de Teste 1	Sempre Ligado	Temperatura da zona condicionada em geral mais baixa do que quando o HVAC se encontra desligado.
Caso de Teste 2	Sempre Desligado	Temperatura da zona condicionada em geral mais alta do que quando o HVAC se encontra ligado. Variação da temperatura em função da temperatura do ambiente exterior.
Caso de Teste 3	Desligado todos os dias das 00:00 às 12:00. Ligado todos os dias das 12:00 às 24:00.	Temperatura da zona condicionada mais baixa nos períodos em que o sistema de HVAC se encontra ligado. Variação da temperatura em função da temperatura do ambiente exterior quando o HVAC se encontra desligado.

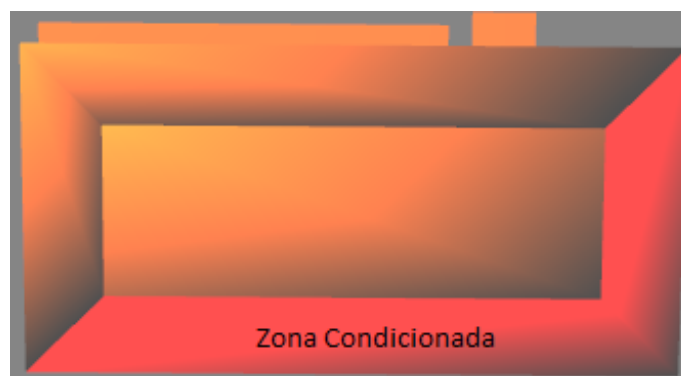
Os resultados das simulações dependem de inúmeros outros parâmetros não controlados pelo sistema de HVAC entre os quais as transferências de calor entre as paredes. Também convém referir que a simulação apresenta valores aproximados do valor real esperado e não valores reais. Os passos seguidos para criar os casos de teste na aplicação estão descritos no anexo A.

## Testes e Resultados

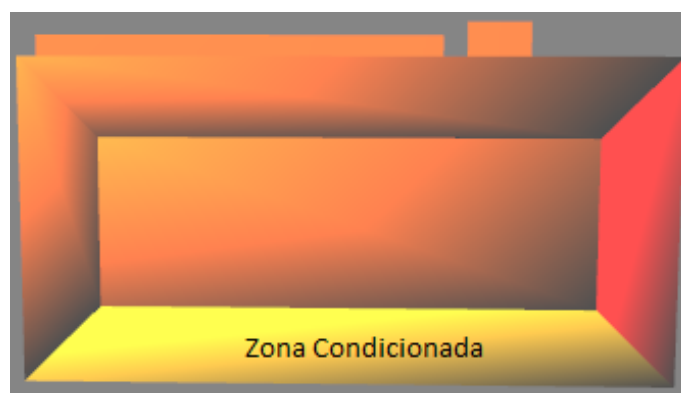
A Figura 46, Figura 47 e Figura 48 apresentam o modelo do edifício renderizado no visualizador de resultados visto de baixo para cada um dos casos de teste definidos às 13:00h horas do dia 21/07/2013 representativo do dia de verão.



*Figura 46: Modelo do edifício do caso de teste 1 renderizado no visualizador de resultados.*



*Figura 47: Modelo do edifício do caso de teste 2 renderizado no visualizador de resultados.*



*Figura 48: Modelo do edifício do caso de teste 3 renderizado no visualizador de resultados.*

Através da análise das figuras anteriores e tendo em conta a que as zonas a vermelho estão mais quentes que as zonas a laranja, sendo as zonas a amarelo aquelas que se encontram a uma

## Testes e Resultados

temperatura mais baixa, é possível verificar que a zona condicionada no caso de teste 1 se encontra mais fresca do que no caso de teste 2 tal como esperado. No caso de teste 3 é possível verificar que a zona condicionada já baixou de temperatura apesar do sistema de arrefecimento do HVAC apenas estar ligado à uma hora. A Figura 49, Figura 50 e Figura 51 apresentam os gráficos de variação de temperatura horária gerados.

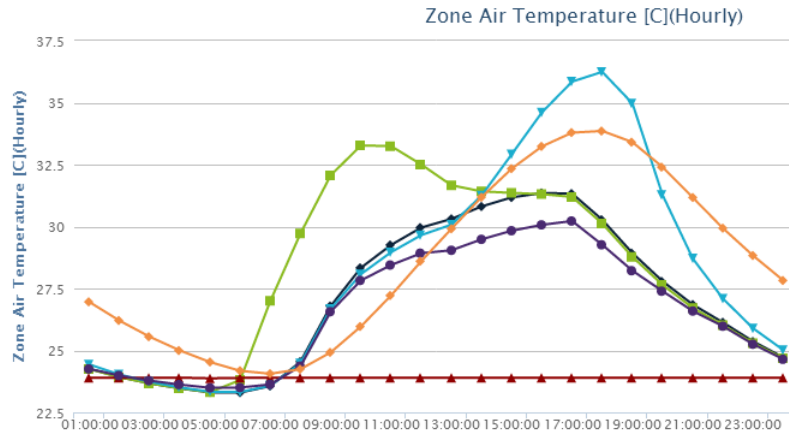


Figura 49: Gráfico de variação horária da temperatura das zonas no caso de teste 1. A linha a vermelho corresponde à zona condicionada.

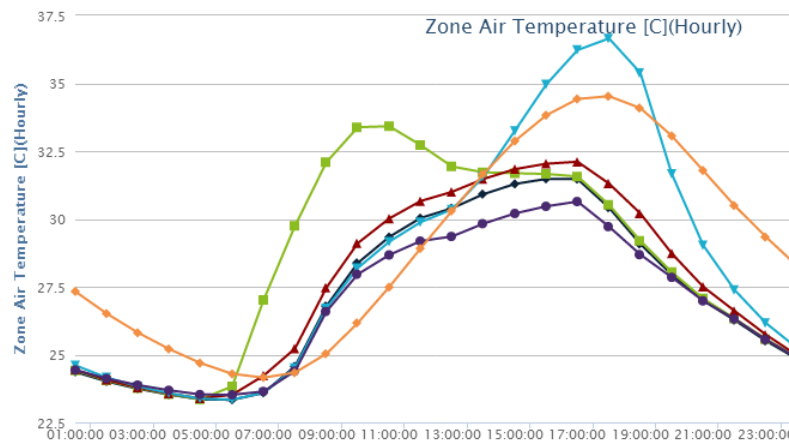


Figura 50: Gráfico de variação horária da temperatura das zonas no caso de teste 2. A linha a vermelho corresponde à zona condicionada.

## Testes e Resultados

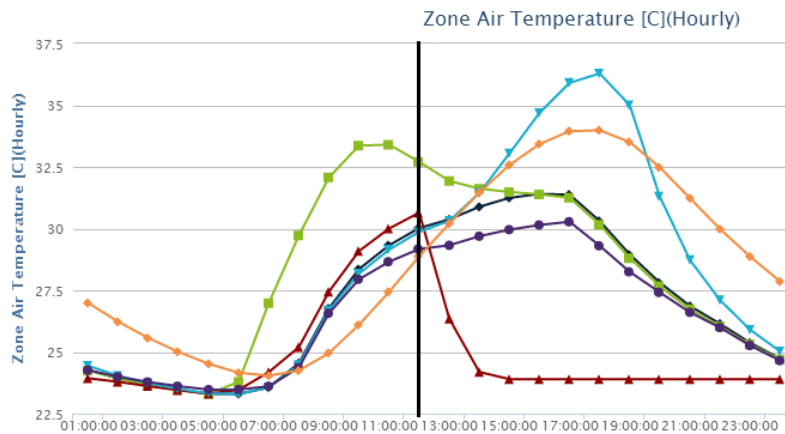


Figura 51: Gráfico de variação horária da temperatura das zonas no caso de teste 3. A linha a vermelho corresponde à zona condicionada. A linha vertical a preto indica a hora a que se ligou o sistema de HVAC.

Através da análise do gráfico da Figura 49, correspondente ao caso de teste 1, é possível verificar que a zona condicionada se mantém a uma temperatura mais ou menos constante devido ao facto de o ar condicionado estar sempre ligado. Já o gráfico da Figura 50, correspondente ao caso de teste 2 demonstra que quando o ar condicionado é desligado a temperatura da zona condicionada varia mais ou menos como a temperatura das outras zonas tendo como principal fator de influência a temperatura do ambiente exterior. Finalmente, o gráfico da Figura 51 correspondente ao caso de teste 3 mostra que enquanto o ar condicionado se encontra desligado, das 00:00h às 12:00h, a temperatura da zona condicionada varia mais ou menos como a temperatura das zonas não condicionadas, mas a partir do momento em que o HVAC é ligado às 12:00h, a temperatura diminui consideravelmente até atingir um valor predefinido que se mantém constante até o ar condicionado ser desligado às 24:00h.

### 5.1.3 Testes à Parametrização de Setpoints de Aquecimento e Arrefecimento do Sistema de HVAC

A Tabela 12 apresenta a descrição de três casos de teste utilizados para verificar se os resultados dados pela aplicação 3DMM quando são definidos *setpoints* de aquecimento e arrefecimento para o sistema de HVAC do edifício correspondem ao valor teórico esperado.

Os passos seguidos para criar os casos de teste na aplicação estão descritos no anexo A.

## Testes e Resultados

Tabela 12: Descrição dos casos de teste 4, 5 e 6

Nome do caso de teste	Estado do sistema de HVAC	Setpoint de aquecimento	Setpoint de arrefecimento	Valor Teórico Esperado
Caso de Teste 4	Ligado	24 °C	25 °C	Temperatura encontra-se entre os setpoints de aquecimento e arrefecimento na zona condicionada. Menor variação da temperatura da zona condicionada do que no caso 5.
Caso de Teste 5	Ligado	23 °C	28 °C	Temperatura encontra-se entre os setpoints de aquecimento e arrefecimento na zona condicionada. Maior variação da temperatura da zona condicionada do que no caso 4.
Caso de Teste 6	Ligado	23 °C das 00:00 às 12:00. 24 °C das 12:00 às 24:00.	28 °C das 00:00 às 12:00. 25 °C das 12:00 às 24:00.	Temperatura encontra-se entre os setpoints de aquecimento e arrefecimento na zona condicionada. Variação da temperatura da zona condicionada de acordo com o horário definido.

A Figura 52, Figura 53 e Figura 54 apresentam os gráficos de variação de temperatura horária gerados para cada um dos casos de teste 4, 5 e 6 para o dia 21/07/2013 representativo do dia de verão. Nos gráficos é apresentada a zona condicionada a vermelho e uma zona não condicionada cuja temperatura varia de acordo com a temperatura ambiente.

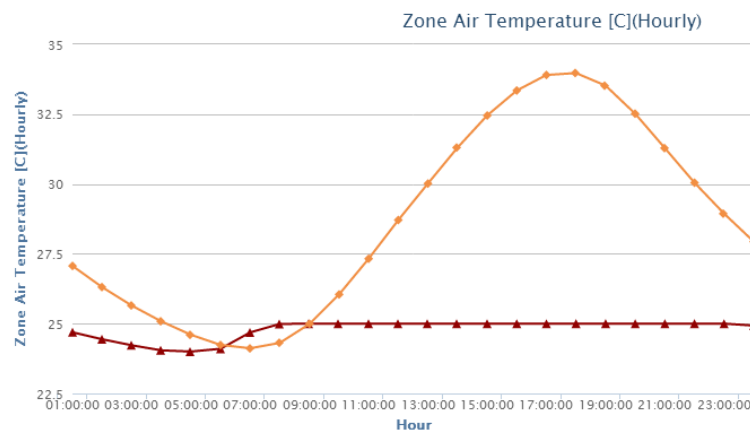


Figura 52: Gráfico de variação horária da temperatura da zona condicionada e de uma zona não condicionada no caso de teste 4. A linha a vermelho corresponde à zona condicionada.

## Testes e Resultados

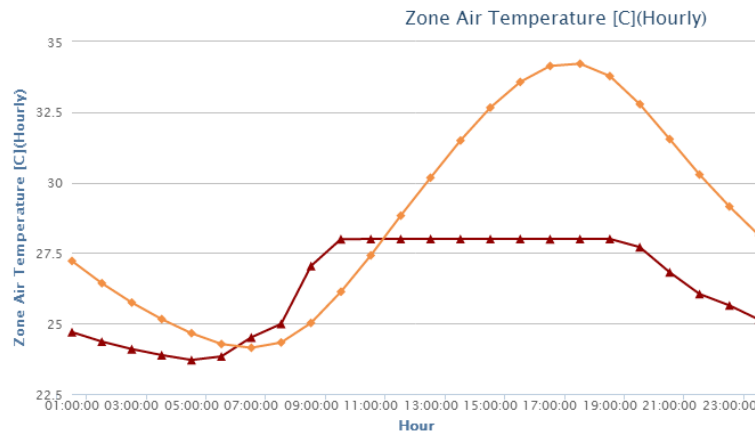


Figura 53: Gráfico de variação horária da temperatura da zona condicionada e de uma zona não condicionada no caso de teste 5. A linha a vermelho corresponde à zona condicionada.

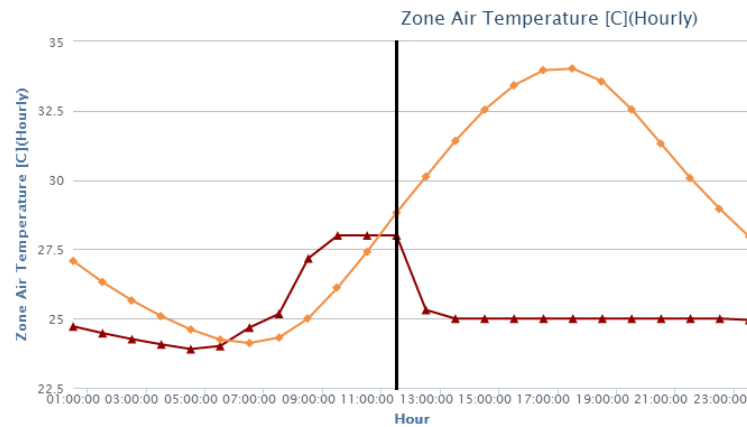


Figura 54: Gráfico de variação horária da temperatura da zona condicionada e de uma zona não condicionada no caso de teste 6. A linha a vermelho corresponde à zona condicionada. A linha vertical a preto indica a hora em que ocorre a alteração dos setpoints de aquecimento e arrefecimento.

Através da análise do gráfico da Figura 52, correspondente ao caso de teste 4 é possível verificar que a temperatura da zona condicionada se mantém entre os 24°C e os 25° C definidos como *setpoints*. Já no gráfico da Figura 53, correspondente ao caso de teste 5 a temperatura mantém-se entre os *setpoints* definidos de 23°C e 28°C. A temperatura da zona atinge os 28°C às 10:00h e é ativado o arrefecimento que a partir desse momento mantém a temperatura da zona mais ou menos constante. Perto das 19:00h a temperatura ambiente começa a baixar o que afeta a temperatura da zona condicionada. Finalmente, o gráfico da Figura 54 correspondente ao caso de teste 6 permite verificar que a temperatura se mantém entre os 23° C e os 28° C das 00:00h às 12:00h, tal como esperado. É possível ver através da comparação com a zona não condicionada, que das 00:00h às 10:00h a zona condicionada é afetada pela variação da temperatura ambiente, contudo quando se aproxima do *setpoint* de arrefecimento de 28°C a temperatura deixa de

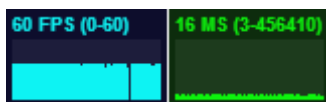
aumentar pois o sistema de arrefecimento é ativado. Ao chegar às 12:00h, entra em ação o novo horário definido para o período correspondente das 12:00h às 24:00h, que impõe uma variação da temperatura entre os 24°C e os 25°C. Assiste-se assim a uma diminuição abrupta da temperatura, seguindo-se um período de estabilidade quando é atingida uma temperatura entre os *setpoints* estipulados.

## 5.2 Desempenho do Sistema

O sistema foi testado, ao longo do seu desenvolvimento, com dois edifícios distintos. O primeiro corresponde ao edifício descrito na secção 5.1.1 que representa uma casa. O segundo corresponde a um edifício proveniente de um caso real que representa um hotel cujo modelo e parametrização energética foram fornecidos pela Smartwatt. Este segundo edifício corresponde ao edifício usado para demonstrar a interface da aplicação no anexo B. Nesta secção são apresentados alguns dados relativo ao desempenho do sistema implementado utilizando um computador com um processador Intel Core i5 a 2.53GHz e 4 GB de memória RAM como servidor. As simulações foram realizadas para dois dias, um dia de verão e um dia de inverno.

### 5.2.1 Medição dos FPS da Cena na Página de Visualização de Resultados

O valor dos FPS da cena foram obtidos através da visualização do valor dado pela *widget* de medição de desempenho, apresentada na Figura 55, colocada no canto superior esquerdo das páginas da aplicação web que renderizam modelos 3D. A página da aplicação web utilizada foi a página de visualização de resultados, apresentada na Figura 93, pois é a página que consome mais recursos computacionais. Uma vez que o valor dos FPS varia num certo intervalo, foi registado o valor máximo e mínimo observado enquanto um utilizador interagia com a aplicação.



*Figura 55: Widget de medição de desempenho disponibilizada pela biblioteca three.js. O lado esquerdo da figura apresenta a widget em modo de medição de FPS e o lado direito apresenta a widget em modo de medição da latência da rede.*



*Tabela 13: Valores dos FPS registados durante a utilização da aplicação web para cada modelo.*

Edifício	Número de Vértices	Número de Faces	Número de Objetos	Valor Mínimo dos FPS registado	Valor Máximo dos FPS registado
Casa	100	108	7	55	60
Hotel	2274	2098	51	42	60

### 5.2.2 Tempo de Atendimento dos Pedidos Registado na Plataforma Web

Para medir o tempo de atendimento dos pedidos, foram adicionados à fila de simulação cinco simulações do edifício “casa” simultaneamente. De seguida ligou-se no servidor a aplicação de gestão de simulações. Quando as simulações foram concluídas registou-se o tempo que cada pedido demorou a ser atendido através da visualização do respetivo valor na janela de simulações completas. O tempo de atendimento do pedido de simulação foi obtido através da subtração do tempo de permanência da simulação atual do sistema de duas simulações consecutivas. De seguida repetiu-se o procedimento para o edifício “hotel”. Note-se que os valores para o tempo de atendimento do pedido de simulação para a primeira simulação de cada tabela são em geral maiores que os tempos das restantes simulações uma vez que a aplicação de gestão de simulações só foi ligada depois de todos os pedidos de simulação terem sido adicionados à fila.

*Tabela 14: Tempos registados para cinco simulações utilizando o edifício “casa”.*

Número da Simulação	Número de Linhas do Ficheiro IDF Original	Tempo de Permanência do pedido de simulação no sistema (hh:mm:ss)	Tempo de Atendimento do pedido de simulação (segundos)
1	1855	00:00:35	35
2	1855	00:00:48	13
3	1855	00:01:02	14
4	1855	00:01:13	11
5	1855	00:01:23	10
		<b>Média</b>	16.6

Tabela 15: Tempos registados para cinco simulações utilizando o edifício “hotel”.

Número da Simulação	Número de Linhas do Ficheiro IDF Original	Tempo de Permanência da simulação no sistema (hh:mm:ss)	Tempo de Atendimento do pedido (segundos)
6	37725	00:07:59	479
7	37725	00:17:13	554
8	37725	00:26:09	536
9	37725	00:34:45	516
10	37725	00:42:22	457
		<b>Média</b>	508.4

### 5.2.3 Desempenho da Aplicação de Gestão de Simulações

De modo a registar o tempo de CPU utilizado pela aplicação de gestão de simulações, recorreu-se às funcionalidades da biblioteca `ctime`<sup>26</sup>. Os valores registados para cada componente foram gravados pela aplicação de gestão de simulações num ficheiro de log apresentado na Figura 56.

```

=====Simulation 1 =====
Initial Read From Database Time: 0.023
Input Files Parsing Run Time : 2.388
Simulation Run Time : 2.668
Results Parsing Run Time : 0.093
Writing Results to Database Runtime : 9.051
=====Simulation 2 =====
Initial Read From Database Time: 0.017
Input Files Parsing Run Time : 1.936
Simulation Run Time : 2.845
Results Parsing Run Time : 0.26
Writing Results to Database Runtime : 9.689

```

Figura 56: Parte do conteúdo do ficheiro `log.txt`.

A aplicação de gestão de simulações pode ser dividida em cinco etapas distintas que podem ser analisadas separadamente como descrito na lista seguinte.

<sup>26</sup> Api da biblioteca `ctime`: <http://www.cplusplus.com/reference/ctime/>

## Testes e Resultados

- **Leitura Inicial de Dados da Base de Dados** – correspondente à obtenção da informação e parametrização definida pelo utilizador para o edifício a simular.
- **Preparação dos Ficheiros de Entrada** – correspondente à leitura do ficheiro IDF original e a criação do ficheiro IDF temporário que vai conter as parametrizações definidas pelo utilizador.
- **Tempo de Processamento da Simulação** – correspondente ao tempo que o EnergyPlus utiliza para efetuar a simulação energética.
- **Tempo de Processamento dos Resultados** – correspondente à leitura dos ficheiros CSV com os resultados da simulação e a preparação dos vetores para colocar os dados na base de dados.
- **Tempo de Escrita dos Resultados na Base de Dados** – tempo necessário para guardar a informação acerca das variáveis de relatório e variáveis de relatório de contagem mensal na base de dados.

A Tabela 16 apresenta os valores de tempo de CPU em segundos, registados para as cinco simulações efetuadas com o edifício “casa”.

*Tabela 16: Tempos de CPU registados em segundos para cada etapa da aplicação de gestão de simulações para as simulações do edifício “casa”.*

Número da Simulação	Leitura Inicial de Dados da Base de Dados	Preparação dos Ficheiros de Entrada	Tempo de Processamento da Simulação	Tempo de Processamento dos Resultados	Tempo de Escrita dos Resultados na Base de Dados	Tempo de CPU Total
1	0.023	2.388	2.668	0.093	9.051	14.223
2	0.017	1.936	2.845	0.26	9.689	14.747
3	0.009	2.128	2.605	0.167	9.945	14.854
4	0.006	5.586	2.954	0.291	3.472	12.309
5	0.031	5.917	2.627	0.257	3.624	12.456
<b>Média</b>	0.0172	3.591	2.7398	0.2136	7.152	13.7178

A Tabela 17 apresenta os valores de tempo de CPU em segundos, registados para as cinco simulações efetuadas com o edifício “hotel”.

## Testes e Resultados

*Tabela 17: Tempos de CPU registados em segundos para cada etapa da aplicação de gestão de simulações para as simulações do edifício "hotel".*

Número da Simulação	Leitura Inicial de Dados da Base de Dados	Preparação dos Ficheiros de Entrada	Tempo de Processamento da Simulação	Tempo de Processamento dos Resultados	Tempo de Escrita dos Resultados na Base de Dados	Tempo de CPU Total
6	0.013	385.498	71.745	0.492	4.795	462.543
7	0.022	472.619	71.859	0.587	10.005	555.092
8	0.009	453.328	71.986	0.429	12.003	537.755
9	0.007	434.375	70.856	0.468	10.499	516.205
10	0.013	379.404	71.869	0.459	7.667	459.412
<b>Média</b>	0.0128	425.0448	71.663	0.487	8.9938	506.201

Através da observação da Tabela 16 é possível verificar que a etapa que demora mais tempo a ser processada é a escrita dos resultados das simulações na base de dados. Na Tabela 17 esse tempo de escrita não é tão notório uma vez que os ficheiros de entrada a processar são muito maiores do que na Tabela 16. Contudo, se for tido em consideração que apenas foram utilizados dois dias de simulação e considerando o valor de 8 segundos que representa a média arredondada das médias dos tempos de escrita dos resultados na base de dados para as dez simulações efetuadas, obtemos um valor de 4 segundos necessário para efetuar a escrita dos resultados correspondentes a um dia na base de dados. Se a simulação fosse anual, seria realizada para 365 dias e o tempo necessário para guardar os dados na base de dados seria de 1460 segundos, ou seja, aproximadamente 24 minutos e 20 segundos. Assim, identifica-se a escrita na base de dados como uma componente da aplicação de gestão de simulações que pode ser ainda bastante melhorada.

O tempo necessário para efetuar a preparação dos dados de entrada é outro dos componentes candidatos a melhoramento, uma vez que nas simulações da Tabela 17 este foi o componente que consumiu mais tempo de CPU.

O tempo de processamento da simulação não pode ser melhorado de forma programática, uma vez que é utilizado um *software* exterior à aplicação de gestão de simulações para efetuar as simulações energéticas.

Os tempos de leitura inicial de dados da base de dados e de processamento de resultados são quase insignificantes quando comparados com os tempos de CPU gastos pelas outras etapas da aplicação de gestão de simulações pelo que para já não foram identificados componentes a melhorar nestas etapas.

Finalmente, as médias dos tempos de CPU totais medidos na aplicação de gestão de simulações apresentadas na Tabela 16 e Tabela 17 e as médias de tempos de atendimento dos

pedidos medidos pela aplicação web apresentadas na Tabela 14 e na Tabela 15, apresentam uma ligeira diferença, cerca de 2 segundos para as simulações feitas com o edifício “casa” e 3 segundos para as simulações feitas com o edifício “hotel”. Esta discrepância no registo dos tempos totais é proveniente principalmente de erros de arredondamento e atrasos na troca de informação na rede. Assim, o tempo total que o pedido demorou a ser atendido medido na aplicação web é em geral ligeiramente mais alto que o tempo de processamento medido pela aplicação de gestão de simulações.

### 5.3 Resumo

Após a análise dos resultados dos casos de teste apresentados, é possível verificar que a aplicação implementada funciona como pretendido pois os resultados correspondem ao valor teórico esperado. Fica assim provado que a aplicação permite fazer corretamente a parametrização do sistema de HVAC de um edifício, a execução da simulação e a visualização dos resultados. A observação da Tabela 13 permite concluir que o número de *frames* por segundo do visualizador do modelo do edifício nas condições referidas, se mantem sempre acima do valor de 30 FPS, valor no qual o ser humano já é capaz de detetar um atraso entre as *frames*.

A Tabela 14 e a Tabela 15 demonstram que o sistema funciona de uma forma relativamente rápida para um caso em que o ficheiro com as parametrizações energéticas é relativamente pequeno sendo preciso algum tempo de processamento para ficheiros maiores.

Já a análise da Tabela 16 e da Tabela 17 permite identificar quais os componentes da aplicação de gestão de simulações que consomem mais tempo de CPU e cuja optimização pode trazer maiores ganhos em termos de eficiência.

Conclui-se ainda que a estrutura da base de dados e a forma como os dados são guardados constitui a componente mais fraca do sistema desenvolvido e a sua melhoria pode contribuir em muito para o aumento do desempenho do sistema e para a redução dos tempos de processamento de dados.



## Capítulo 6

# Conclusões e Trabalho Futuro

Após a análise dos resultados da prova de conceito do sistema apresentado na secção 3.5, chegou-se à conclusão que o sistema funciona como esperado o que abre portas não só ao seu desenvolvimento futuro como também à aplicação do conceito a outros contextos. A secção 6.1 apresenta a satisfação dos objetivos iniciais definidos na proposta de dissertação, fazendo uma comparação entre a previsão feita para as funcionalidades da plataforma e as funcionalidades realmente implementadas. A secção 6.2 refere o que pode ser feito de modo a dar continuidade ao desenvolvimento do projeto. Inclui-se também uma lista de possíveis aplicações do conceito base da solução a outros contextos de utilização.

### 6.1 Satisfação dos Objectivos

Os objetivos definidos para esta dissertação foram na sua grande maioria atingidos à exceção da implementação do suporte de inputs de sistemas de monitorização permanente colocados em edifícios. Tal deveu-se ao facto de a Smartwatt não possuir nem o modelo 3D nem as parametrizações energéticas iniciais para EnergyPlus de um edifício no qual estivesse instalado um sistema de monitorização, o que impossibilitou a implementação deste módulo. Foi feita contudo, na secção 3.3 uma análise da solução atual para a gestão e monitorização permanente do consumo energético de edifícios bem como a apresentação de uma possível solução para o problema na secção 3.5.2.

De modo a compensar o facto de o sistema implementado não suportar a monitorização, o sistema de simulação previsto e o desenho da interface foram expandidos. Estava previsto implementar um sistema como prova de conceito capaz de efetuar simulações ao alterar a parametrização energética do material das paredes, contudo na aplicação foi implementado suporte para alterar dinamicamente a parametrização do sistema HVAC tanto em termos de

disponibilidade como em termos de *setpoints* de aquecimento e arrefecimento, permitindo inclusive a definição prévia de horários em que as alterações devem ocorrer, tal como descrito na secção 4.1. No que toca ao *design* da interface, estava prevista a realização de apenas duas iterações, sendo que na realidade foi realizada uma iteração para o *design* do visualizador inicial, duas iterações, utilizando ferramentas de prototipagem, para o *design* da aplicação web completa e um *design* final da interface utilizada na aplicação web implementada.

## 6.2 Trabalho Futuro

No momento em que este documento foi escrito, está já a decorrer uma nova fase de *design* da interface da aplicação 3DMM tendo em vista a utilização comercial da mesma. Este *design* da interface encontra-se ainda numa fase inicial razão pela qual não foi incluído na dissertação. Está também a ser criado, pelo respetivo departamento da Smartwatt, um modelo 3D das instalações da empresa bem como o respetivo ficheiro de parametrização energética do sistema de HVAC instalado, de modo a poder ser testado o módulo de monitorização a ser implementado futuramente. Existe assim uma prospecção futura de desenvolvimento da aplicação de modo a suportar mais parâmetros de simulação e novas funcionalidades. Espera-se que a escolha dos parâmetros de simulação seja feita através de menus que permitam aos utilizadores escolher exatamente que parâmetros energéticos pretendem variar. Também se pretende paralelizar a aplicação de gestão de simulações no servidor de modo a ser possível executar várias simulações em simultâneo, divididas por vários servidores de processamento e melhorar a estrutura da base de dados.

O sistema apresentado nesta dissertação pode ter aplicações práticas em outros campos diferentes da simulação energéticas de edifícios. A lista seguinte agrega potenciais contextos de utilização da solução apresentada.

- Domótica - sistema de controlo e visualização através do *browser* de edifícios inteligentes.
- Segurança de Edifícios - sistema de detecção de movimentos ou outros parâmetros ligados a uma base de dados que alimenta a página web com o modelo do edifício. Visualização dos parâmetros na interface e associados ao edifício através de uma escala de cores.
- Indústria Imobiliária - disponibilização do modelo do edifício com parâmetros associados a ser visualizado por potenciais clientes através do browser



# Referências

1. Comissão Europeia. 2013. “Financial support for energy efficiency in buildings.” Report From the Commission to the European Parliament And The Council, páginas 4-11.
2. Trimble Navigation Limited. “SketchUp.” Última atualização em 2013. Acedido a 1 de Julho de 2013. <http://www.sketchup.com/>
3. Autodesk. “Autodesk Ecotect Analysis.” Última atualização em 2013. Acedido a 1 de Julho de 2013. <http://usa.autodesk.com/ecotect-analysis/>
4. DesignBuilder Software Ltd. “Design Builder.” Acedido a 1 de Julho de 2013. [www.designbuilder.co.uk](http://www.designbuilder.co.uk)
5. DesignBuilder Software Ltd. “Energy Plus.” Acedido a 1 de Julho de 2013. <http://www.designbuilder.co.uk/content/view/29/44/>
6. CADMAI Software GmbH. “WebGL-Publisher 2.0.” Acedido a 13 de Julho de 2013. <http://www.webgl-publisher.com>
7. CADMAI Software GmbH. “What is WebGL-Publisher?” Acedido a 13 de Julho de 2013. <http://www.webgl-publisher.com/TechInfoEn.html>
8. Google Inc. “Open-3d-viewer: WebGL-based 3D object viewer with instant search.” Acedido a 2 de Julho de 2013 . <https://code.google.com/p/open-3d-viewer/>
9. Paradis, R. “Energy Analysis Tools .” Última atualização a 6 de Outubro de 2010. Acedido a 22 de Junho de 2013 . <http://www.wbdg.org/resources/energyanalysis.php>
10. Hirsch, J J. “DOE-2, Building Energy Use and Cost Analysis Tools”. Acedido a 22 de Junho de 2013. <http://doe2.com/DOE2/>
11. Anon. “DOE-2”. Acedido a 22 de Junho de 2013. <http://gundog.lbl.gov/dirsoft/d2whatis.html>

## Referências

12. Hirsch, J J. “DOE-2.2 sample Output.” Disponível online em [http://doe2.com/download/eQUEST/DOE22Reports-and-QC\\_2001-06-07.zip](http://doe2.com/download/eQUEST/DOE22Reports-and-QC_2001-06-07.zip)
13. Hirsch, J J. “eQUEST the QUick Energy Simulation Tool”. Acedido a 22 de Junho de 2013. <http://www.doe2.com/equest/>
14. Energy Design Resources. “eQUEST ... the QUick Energy Simulation Tool.” Disponível online em <http://www.doe2.com/download/equest/eQUESTv3-Overview.pdf>
15. Weaver, N., Pappas, A. 2007 “eQuest Building Energy Modeling. Methods and Strategies.” Disponível online em [http://www.usgbccolorado.com/news-events/documents/eQuestpresentationEnermodal\\_000.pdf](http://www.usgbccolorado.com/news-events/documents/eQuestpresentationEnermodal_000.pdf)
16. National Institute of Building Sciences. “BLAST (Building Loads Analysis and System Thermodynamics).” Última atualização em 2013. Acedido a 23 de Junho de 2013. <http://www.wbdg.org/tools/blast.php>
17. U.S. Department of Energy. “Energy Plus”. Última atualização a 4 de Fevereiro de 2013. Acedido a 23 de Junho de 2013. <http://apps1.eere.energy.gov/buildings/energyplus/>
18. U.S. Department of Energy. “About EnergyPlus”. Última atualização a 30 de Abril de 2013. Acedido a 23 de Junho de 2013. [http://apps1.eere.energy.gov/buildings/energyplus/energyplus\\_about.cfm](http://apps1.eere.energy.gov/buildings/energyplus/energyplus_about.cfm)
19. The Board of Trustees of the University of Illinois and the Regents of the University of California through the Ernest Orlando Lawrence Berkeley National Laboratory. 2013. “Everything You Need to Know about EnergyPlus Input and Output”. Disponível online em <http://apps1.eere.energy.gov/buildings/energyplus/pdfs/InterfaceDeveloper.pdf>
20. U.S. Department of Energy. “EnergyPlus EnergyPlus Utilities.” Última atualização a 7 de Março de 2011. Acedido a 24 de Junho de 2013. [http://apps1.eere.energy.gov/buildings/energyplus/energyplus\\_utilities.cfm](http://apps1.eere.energy.gov/buildings/energyplus/energyplus_utilities.cfm)
21. Deringer, J., Heming, K., and Nahman, J. 2012. “LearnHPB and eLAD—Two Related Online eLearning Platforms for High Performance Buildings.” Efficiency in Buildings: 99–110. Disponível online em <http://gundog.lbl.gov/wetter/download/2012-acee-eLearning.pdf>

## Referências

22. Institute for the Sustainable Performance of Buildings. “Learn High Performance Buildings.” Última atualização em 2012. Acedido a 6 de Maio de 2013. [http://www.sustainable-performance.org/projects\\_lhpb.html](http://www.sustainable-performance.org/projects_lhpb.html)
23. Institute for the Sustainable Performance of Buildings. “Learn HVAC.” Última atualização em 2011. Acedido a 6 de Maio de 2013. <http://www.learnhvac.org/>
24. Institute for the Sustainable Performance of Buildings. “E Lighting and Daylighting (ELAD).” Última atualização em 2012. Acedido 6 de Maio de 2013. [http://www.sustainable-performance.org/projects\\_elad.html](http://www.sustainable-performance.org/projects_elad.html)
25. Khronos Group. “WebGL: OpenGL ES 2.0 for the Web”. Última atualização em 2013. Acedido a 27 de Abril de 2013. <http://www.khronos.org/webgl/>
26. Cantor, Diego, e Brandon Jones. 2012. *WebGL Beginner’s Guide*. Packt Publishing.
27. WebGL Wiki Contributors. ”User Contributions”. Última atualização a 9 de Maio de 2013. Acedido a 30 de Junho de 2013. [http://www.khronos.org/webgl/wiki\\_1\\_15/index.php?title=User\\_Contributions&direction=prev&oldid=1189](http://www.khronos.org/webgl/wiki_1_15/index.php?title=User_Contributions&direction=prev&oldid=1189)
28. Adobe Systems Incorporated. “Stage 3D.” Última atualização em 2013. Acedido a 13 de Julho de 2013. <http://www.adobe.com/devnet/flashplayer/stage3d.html>
29. Microsoft. “Microsoft Silverlight”. Última atualização em 2013. Acedido a 13 de Julho de 2013. <http://www.microsoft.com/silverlight/>
30. Unity Technologies. “Unity”. Última atualização em 2013. Acedido a 13 de Julho de 2013. <http://unity3d.com>
31. Three.js Authors. “Three.js”. Última atualização em 2013. Acedido a 30 de Junho de 2013. <http://threejs.org/>
32. Lewis, P. “Getting Started With Three.js”. Acedido a 30 de Junho de 2013. <http://www.aerotwist.com/tutorials/getting-started-with-three-js/>
33. Lal, R. “Developing 3D Objects in Silverlight.” Acedido a 1 de Julho de 2013. <http://msdn.microsoft.com/en-us/magazine/hh547098.aspx>
34. GLGE Developers. 2012. ”GLGE: WebGL for the lazy.” Acedido a 30 de Junho de 2013. <http://www.glge.org/>

## Referências

35. SceneJS Developers.2013. “SceneJS 3D Engine for the Web.” Acedido a 30 de Junho de 2013. <http://scenejs.org/>
36. BioDigital. “BioDigital Human”. Última atualização em 2013. Acedido a 13 de Julho de 2013. <http://www.biodigital.com/biodigital-human.html>
37. BioDigital. 2013. “Smile Train Virtual Surgery Simulator .“ Acedido a 13 de Julho de 2013. <https://smiletrain.biodigitalhuman.com/home/>
38. The Apache Software Foundation. “Apache HTTP Server Project.” Última atualização a 25 de Fevereiro de 2013. Acedido a 29 de Junho de 2013. <http://httpd.apache.org/>
39. The PostgreSQL Global Development Group. “Postgre SQL.” Última atualização em 2013. Acedido a 29 de Junho de 2013. <http://www.postgresql.org/about/>
40. Oracle Corporation and/or its affiliates. “Why MySQL?” Última atualização em 2013. Acedido a 29 de Junho de 2013. <http://www.mysql.com/why-mysql/>
41. The PHP Group. 2013. “php”. Acedido a 30 de Junho de 2013. <http://php.net/>
42. W3C Wiki Contributors. “HTML.” Última atualização a 18 de Novembro de 2011. Acedido a 29 de Junho de 2013. <http://www.w3.org/community/webed/wiki/index.php?title=HTML&oldid=538>
43. Mozilla Developer Network and individual contributors. “JavaScript.” Última atualização em 2013. Acedido a 2 de Julho de 2013. <https://developer.mozilla.org/en-US/docs/Web/JavaScript?redirectlocale=en-US&redirectslug=JavaScript>
44. Chapman, S. “What is JavaScript Used For?” Acedido a 2 de Julho de 2013. <http://javascript.about.com/od/reference/a/javascriptpurpose.htm>
45. Garret, JJ. 2005. “Ajax: A New Approach to Web Applications”. Disponível online em [http://www.robertspahr.com/teaching/nmp/ajax\\_web\\_applications.pdf](http://www.robertspahr.com/teaching/nmp/ajax_web_applications.pdf) .
46. The Board of Trustees of the University of Illinois and the Regents of the University of California through the Ernest Orlando Lawrence Berkeley National Laboratory. 2013. “Basic Concepts Manual – Essencial Information You Need about Running EnergyPlus”. Disponível online em <http://apps1.eere.energy.gov/buildings/energyplus/pdfs/gettingstarted.pdf> .

## Referências

47. WebGL Wiki Contributors. “Demo Repository”. Última atualização a 26 de Junho de 2013. Acedido a 13 de Julho de 2013.  
[http://www.khronos.org/webgl/wiki/Demo\\_Repository](http://www.khronos.org/webgl/wiki/Demo_Repository)
48. U.S. Department of Energy. “Legacy OpenStudio Plug-in for SketchUp.” Última atualização a 15 de Abril de 2013. Acedido a 12 de Julho de 2013.  
<http://apps1.eere.energy.gov/buildings/energyplus/openstudio.cfm>
49. DesignBuilder Software Ltd. “Design Builder Features.” Acedido a 17 de Julho de 2013. <http://www.designbuilder.co.uk/content/view/6/14/>
50. Zygote Media Group. “Zygote Body.” Acedido a 2 de Julho de 2013.  
<http://www.zygotebody.com/>
51. Ambiera e.U. “CopperLicht: fast WebGL JavaScript 3D Engine.” Acedido a 30 de Junho de 2013. <http://www.ambiera.com/copperlicht/index.html>
52. Ambiera e.U. “CopperLicht Features Overview.” Acedido a 30 de Junho de 2013.  
<http://www.ambiera.com/copperlicht/features.html>
53. The jQueryFoundation. “jQuery, write less, do more.” Última atualização em 2014. Acedido a 30 de Dezembro de 2013. <http://jquery.com/>
54. Microsoft. “Get Started with ASP.NET.” Última atualização em 2014. Acedido a 30 de Dezembro de 2013. <http://www.asp.net/get-started>
55. The Board of Trustees of the University of Illinois and the Regents of the University of California through the Ernest Orlando Lawrence Berkeley National Laboratory. Última atualização a 23 de Junho de 2013. Acedido a 30 de Dezembro de 2013.  
<http://bigladdersoftware.com/epx/docs/8-0/input-output-reference/page-090.html>
56. National Renewable Energy Laboratory. “IDF Primer – Introduction to IDF file (anatomy of objects, EnergyPlus Documentation).” Acedido a 30 de Dezembro de 2013. <http://openstudio.nrel.gov/Google%20SketchUp%20Plug-in%20%7C%20Tutorials/Legacy%20Tutorials/idf-primer-introduction-idf-file-anatomy-object>.
57. IESD, De Montfort University. “The JEPlus Simulation Server (JESS).” Última atualização em 2012. Acedido a 31 de Dezembro de 2013.  
[http://www.jeplus.org/wiki/doku.php?id=docs:jess\\_service](http://www.jeplus.org/wiki/doku.php?id=docs:jess_service).

## Referências

58. IESD, De Montfort University. “JEPlus – An EnergyPlus simulation manager for parametrics.” Última atualização em 2012. Acedido a 31 de Dezembro de 2013. <http://www.jeplus.org/wiki/doku.php>.
59. U.S. Department of Energy. “EnergyPlus Example File Generator.” Última atualização a 31 de Outubro de 2013. Acedido a 31 de Dezembro de 2013. [http://apps1.eere.energy.gov/buildings/energyplus/cfm/inputs/index.cfm#form\\_generator](http://apps1.eere.energy.gov/buildings/energyplus/cfm/inputs/index.cfm#form_generator)
60. Autodesk Inc. “Streamline your workflow with FBX.” Última atualização em 2013. Acedido a 31 de Dezembro de 2013. <http://www.autodesk.com/products/fbx/overview>.
61. The Blender Foundation. “The Software.” Acedido a 31 de Dezembro de 2013. <http://www.blender.org/about/>.
62. GARD Analytics, Inc. and University of Illinois at Urbana-Champaign under contract to the National Renewable Energy Laboratory. “Lecture 3: Output-Reports, Variables, and Meters.” [http://www.labeee.ufsc.br/antigo/pos-graduacao/ecv\\_4202/Lecture%2003%20Output%20and%20Meters.ppt](http://www.labeee.ufsc.br/antigo/pos-graduacao/ecv_4202/Lecture%2003%20Output%20and%20Meters.ppt)
63. cplusplus.com. “A brief Description.” Última atualização em 2013. Acedido a 13 de Janeiro de 2014. <http://www.cplusplus.com/info/description/>
64. Oracle Corporation and/or its affiliates.”Chapter1. MySQL Connector/C++”. Atualizado em 2014. Acedido a 13 de janeiro de 2014. Acedido <http://dev.mysql.com/doc/connector-cpp/en/connector-cpp.html>.
65. Oracle Corporation and/or its affiliates. “Installing MySQL Connector/C++ from Source.” Atualizado em 2014. Acedido a 13 de janeiro de 2014. <http://dev.mysql.com/doc/refman/5.1/en/connector-cpp-installation-source.html>
66. Gamma, Erich, Richard Helm, Ralph Johnson, e John Vlissides. 1994. *Design Patterns: Elements of Reusable Object-Oriented Software*. Addison-Wesley Professional.

## **Anexo A**

# **Criação dos Casos de Teste**

Este anexo descreve os passos seguidos a partir da página inicial da aplicação web para criar os casos de teste apresentados na secção 5.1 do capítulo de resultados.

### **8.1 Caso de Teste 1**

1. Acedeu-se ao módulo de processamento de simulações clicando no segundo item do menu de navegação disponibilizado;
2. Escolheu-se a primeira opção a qual permite efetuar uma nova simulação.
3. Escolheu-se o edifício de nome “house” da lista de edifícios apresentada, cujas características se encontram descritas na secção 5.1.1.
4. Na página de edição de parâmetros de simulação apresentada de seguida foi escolhida a opção *on* para a opção “Default” na secção “HVAC Availability”, o que define uma simulação com o HVAC ligado.
5. Clicou-se no botão “Simulate!” e verificou-se que o pedido de simulação do caso de teste 1 foi devidamente adicionado à fila de pedidos através da leitura da mensagem que aparece no ecrã.
6. Aguardou-se que a simulação estivesse concluída e abriu-se a respetiva página de visualização resultados.

## 8.2 Caso de Teste 2

1. Acedeu-se ao módulo de processamento de simulações clicando no segundo item do menu de navegação disponibilizado;
2. Escolheu-se a primeira opção a qual permite efetuar uma nova simulação.
3. Escolheu-se o edifício de nome “house” da lista de edifícios apresentada, cujas características se encontram descritas na secção 5.1.1.
4. Na página de edição de parâmetros de simulação apresentada de seguida alterou-se a opção “Default” da secção “HVAC Availability” de *on* para *off*, o que desliga o ar condicionado.
5. Clicou-se no botão “Simulate!”, e verificou-se que o pedido de simulação do caso de teste 2 foi devidamente adicionado à fila de pedidos através da leitura da mensagem que aparece no ecrã.
6. Aguardou-se que a simulação estivesse concluída e abriu-se a respetiva página de visualização resultados.

## 8.3 Caso de Teste 3

1. Acedeu-se ao módulo de processamento de simulações clicando no segundo item do menu de navegação disponibilizado;
2. Escolheu-se a primeira opção a qual permite efetuar uma nova simulação.
3. Escolheu-se o edifício de nome “house” da lista de edifícios apresentada, cujas características se encontram descritas na secção 5.1.1.
4. Na página de edição de parâmetros de simulação apresentada clicou-se na opção “setPoints” da secção “HVAC Availability” o que abriu a janela modal de definição de *setpoints*.
5. Dentro da janela modal, no campo “Day/Days” escolheu-se a opção “Alldays”, definindo-se de seguida um estado horário *off* das 00:00 às 12:00 e outro estado horário *on* das 12:00 às 24:00. A Figura 57 apresenta a interface do modal depois a parametrização estar definida.



## Criação dos Casos de Teste

6. Clicou-se no botão “Save changes” para guardar as alterações efetuadas na janela modal e fechou-se esta interface clicando no botão “Close”.
7. Clicou-se no botão “Simulate!”, e verificou-se que o pedido de simulação do caso de teste 3 foi devidamente adicionado à fila de pedidos através da leitura da mensagem que aparece no ecrã.
8. Aguardou-se que a simulação estivesse concluída e abriu-se a respetiva página de visualização resultados.

Define Availability Setpoints Schedule for HVAC

Day/Days: Alldays

Starting at 00:00

State: Off Until: 12:00

State: On Until: 24:00

Close Remove Last Day Add Day Save changes

9.

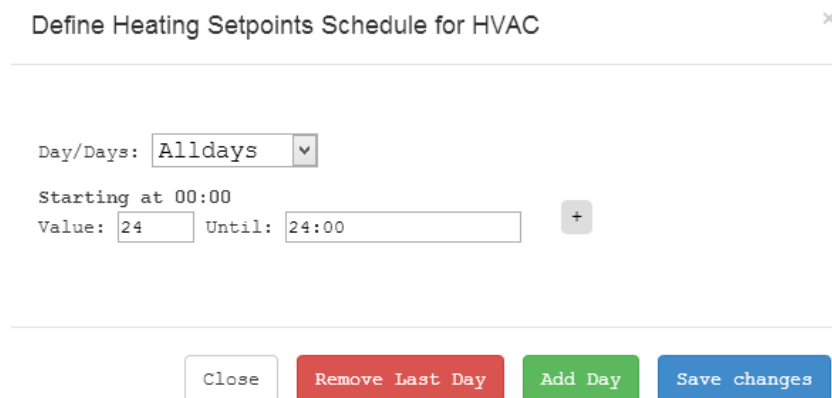
Figura 57: Conteúdo da janela modal de definição do estado de disponibilidade do sistema de HVAC para o caso de teste 3.

## 8.4 Caso de Teste 4

1. Acedeu-se ao módulo de processamento de simulações clicando no segundo item do menu de navegação disponibilizado;
2. Escolheu-se a primeira opção a qual permite efetuar uma nova simulação.
3. Escolheu-se o edifício de nome “house” da lista de edifícios apresentada, cujas características se encontram descritas na secção 5.1.1.
4. Na página de edição de parâmetros de simulação apresentada, clicou-se na opção “setPoints” da secção “HVAC Heating” o que abriu a janela modal de definição de *setpoints* de aquecimento.

## Criação dos Casos de Teste

5. No campo “Day/Days” escolheu-se a opção “Alldays”, definindo-se de seguida um *setpoint* com o valor 24 das 00:00 às 24:00. Clicou-se no botão “Save changes”. A interface da janela modal está apresentada na Figura 58.
6. Clicou-se no na opção “setPoints” da secção “HVAC Cooling” o que abriu a janela modal de definição de *setpoints* de arrefecimento.
7. No campo “Day/Days” escolheu-se a opção “Alldays”, definindo-se de seguida um *setpoint* com o valor 25 das 00:00 às 24:00. De seguida, clicou-se no botão “Save changes”. A interface da janela modal está apresentada na Figura 59.
8. Clicou-se no botão “Add Simulation” e verificou-se que o pedido de simulação do caso de teste 4 foi devidamente adicionado à fila de pedidos através da leitura da mensagem que aparece no ecrã.
9. Aguardou-se que a simulação estivesse completa e abriu-se a página de visualização resultados.



Define Heating Setpoints Schedule for HVAC

Day/Days: Alldays

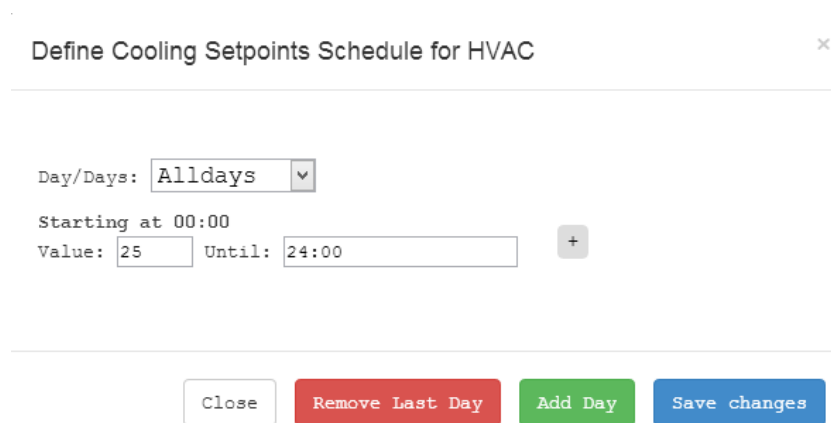
Starting at 00:00

Value: 24 Until: 24:00

Close Remove Last Day Add Day Save changes

Figura 58: Conteúdo da janela modal de definição dos *setpoints* de aquecimento do sistema de HVAC para o caso de teste 4.

## Criação dos Casos de Teste



Define Cooling Setpoints Schedule for HVAC

Day/Days:

Starting at 00:00

Value:  Until:

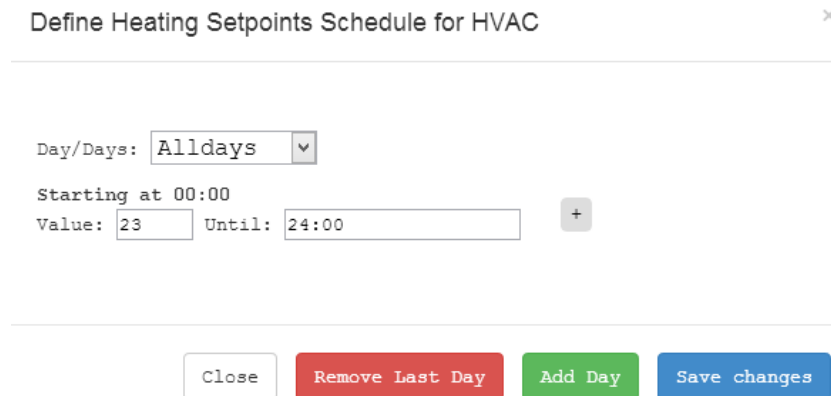
Figura 59: Conteúdo da janela modal de definição dos setpoints de arrefecimento do sistema de HVAC para o caso de teste 4.

## 8.5 Caso de Teste 5

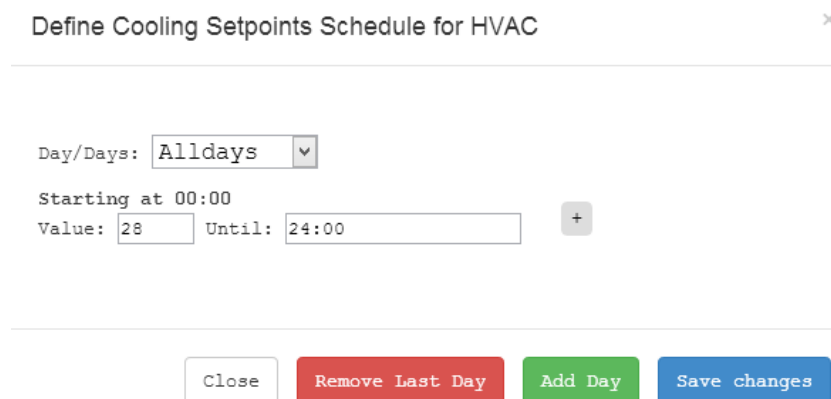
1. Acedeu-se ao módulo de processamento de simulações clicando no segundo item do menu de navegação disponibilizado;
2. Escolheu-se a primeira opção a qual permite efetuar uma nova simulação.
3. Escolheu-se o edifício de nome “house” da lista de edifícios apresentada, cujas características se encontram descritas na secção 5.1.1.
4. Na página de edição de parâmetros de simulação apresentada, clicou-se na opção “setPoints” da secção “HVAC Heating” o que abriu a janela modal de definição de *setpoints* de aquecimento.
5. No campo “Day/Days” escolheu-se a opção “Alldays”, definindo-se de seguida um *setpoint* com o valor 23 das 00:00 às 24:00. Clicou-se no botão “Save changes”. A interface da janela modal está apresentada na Figura 60.
6. Clicou-se na opção “setPoints” da secção “HVAC Cooling” o que abriu a janela modal de definição de *setpoints* de arrefecimento.
7. No campo “Day/Days” escolheu-se a opção “Alldays”, definindo-se de seguida um *setpoint* com o valor 28 das 00:00 às 24:00. De seguida, clicou-se no botão “Save changes”. A interface da janela modal está apresentada na Figura 61.

## Criação dos Casos de Teste

8. Clicou-se no botão “Add Simulation” e verificou-se que o pedido de simulação do caso de teste 5 foi devidamente adicionado à fila de pedidos através da leitura da mensagem que aparece no ecrã.
9. Aguardou-se que a simulação estivesse completa e abriu-se a página de visualização resultados.



*Figura 60: Conteúdo da janela modal de definição dos setpoints de aquecimento do sistema de HVAC para o caso de teste 5.*



*Figura 61: Conteúdo da janela modal de definição dos setpoints de arrefecimento do sistema de HVAC para o caso de teste 5.*

## 8.6 Caso de Teste 6

1. Acedeu-se ao módulo de processamento de simulações clicando no segundo item do menu de navegação disponibilizado;
2. Escolheu-se a primeira opção a qual permite efetuar uma nova simulação.

### Criação dos Casos de Teste

3. Escolheu-se o edifício de nome “house” da lista de edifícios apresentada, cujas características se encontram descritas na secção 5.1.1.
4. Na página de edição de parâmetros de simulação apresentada, clicou-se na opção “setPoints” da secção “HVAC Heating” o que abriu a janela modal de definição de *setpoints* de aquecimento.
5. No campo “Day/Days” escolheu-se a opção “Alldays”, definindo-se de seguida um *setpoint* com o valor 23 das 00:00 às 24:00.
6. Clicou-se no botão com o símbolo “+” para criar uma nova entrada para o dia definido. No novo campo que surgiu definiu-se um *setpoint* com o valor 24 das 12:00 às 24:00. Clicou-se no botão “Save changes”. A interface da janela modal está apresentada na Figura 62.
7. Clicou-se na opção “setPoints” da secção “HVAC Cooling” o que abriu a janela modal de definição de *setpoints* de aquecimento.
8. No campo “Day/Days” escolheu-se a opção “Alldays”, definindo-se de seguida um *setpoint* com o valor 28 das 00:00 às 12:00.
9. Clicou-se no botão com o símbolo “+” para criar uma nova entrada para o dia definido. No novo campo que surgiu definiu-se um *setpoint* com o valor 25 das 12:00 às 24:00. Clicou-se no botão “Save changes”. A interface da janela modal está apresentada na Figura 63.
10. Clicou-se no botão “Add Simulation” e verificou-se que o pedido de simulação do caso de teste 6 foi devidamente adicionado à fila de pedidos através da leitura da mensagem que aparece no ecrã.
11. Aguardou-se que a simulação estivesse completa e abriu-se a página de visualização resultados.

## Criação dos Casos de Teste

Define Heating Setpoints Schedule for HVAC

Day/Days: Alldays

Starting at 00:00

Value: 23 Until: 12:00

Value: 24 Until: 24:00

Close Remove Last Day Add Day Save changes

Figura 62: Conteúdo da janela modal de definição dos setpoints de aquecimento do sistema de HVAC para o caso de teste 6.

Define Cooling Setpoints Schedule for HVAC

Day/Days: Alldays

Starting at 00:00

Value: 28 Until: 12:00

Value: 25 Until: 24:00

Close Remove Last Day Add Day Save changes

Figura 63: Conteúdo da janela modal de definição dos setpoints de arrefecimento do sistema de HVAC para o caso de teste 6.

## Anexo B

# Interfaces da Aplicação

### 9.1 Desenho do Visualizador Base

Inicialmente foi implementada uma página de visualização simples apenas com um objeto genérico de modo a testar as funcionalidades base do visualizador tais como a seleção de *meshes* do objeto apresentado, alteração de parâmetros na interface, controlos da cena e a lista de seleção de *meshes*, tal como apresentado na Figura 64. Esta primeira fase da implementação já incluiu certos pormenores de usabilidade como a definição dos controlos da cena bem como a seleção e manipulação do modelo em si.

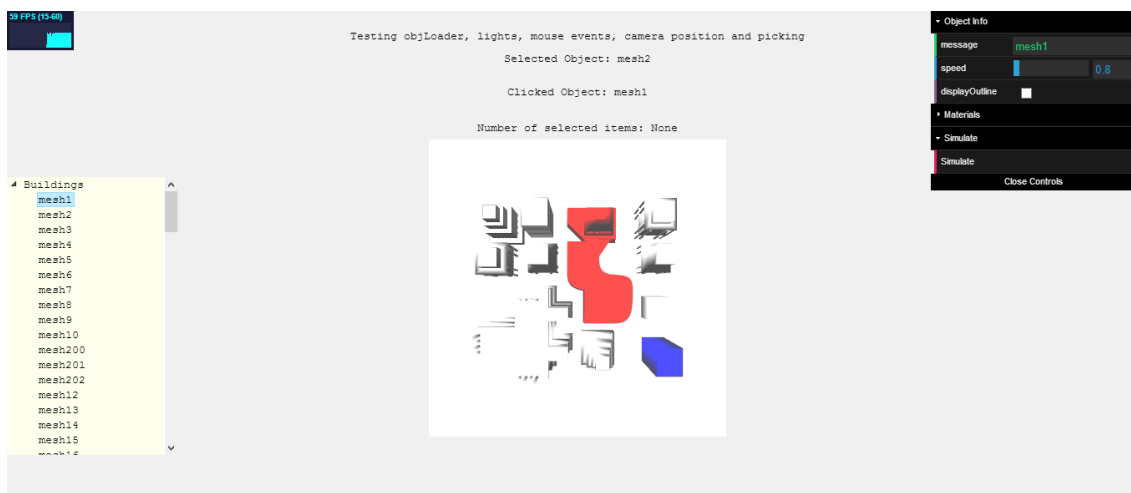


Figura 64: Primeira versão do visualizador de modelos 3D no browser.

## 9.2 Descrição da Primeira Iteração do Design da Interface

Esta secção do anexo apresenta as interfaces criadas recorrendo à ferramenta mockingbird<sup>27</sup> para a criação de mockups. A primeira iteração apresenta as páginas base que se pensavam ser essenciais no início do desenvolvimento do sistema. Algumas das páginas, tais como páginas de contactos e de login, foram ignoradas por não apresentarem relevância.



*Figura 65: Interface da página home na primeira iteração do design da interface.*

<sup>27</sup> Url da Ferramenta: <https://gomockingbird.com/>



## Interfaces da Aplicação

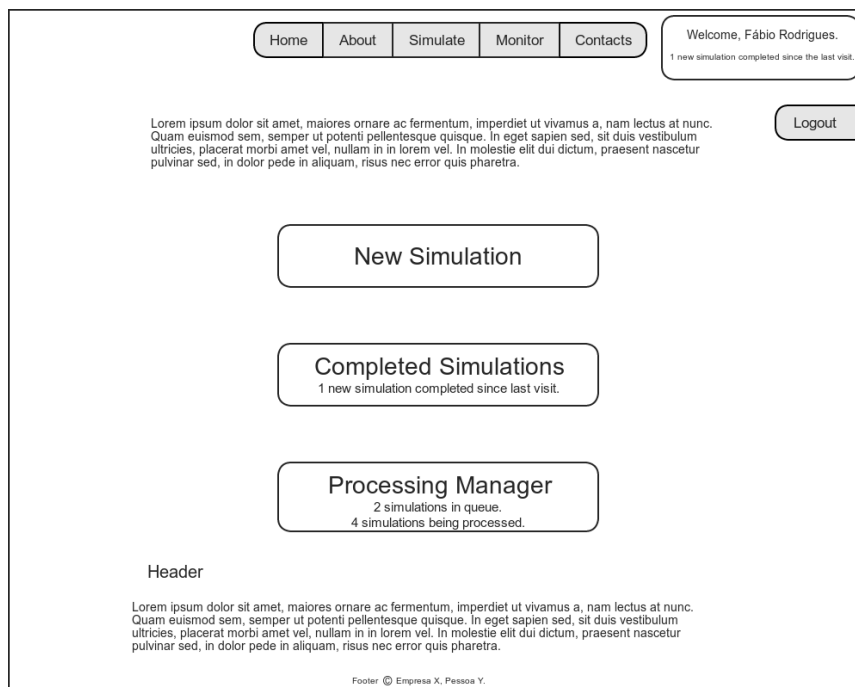


Figura 66: Interface da página simulation processing manager na primeira iteração do design da interface.

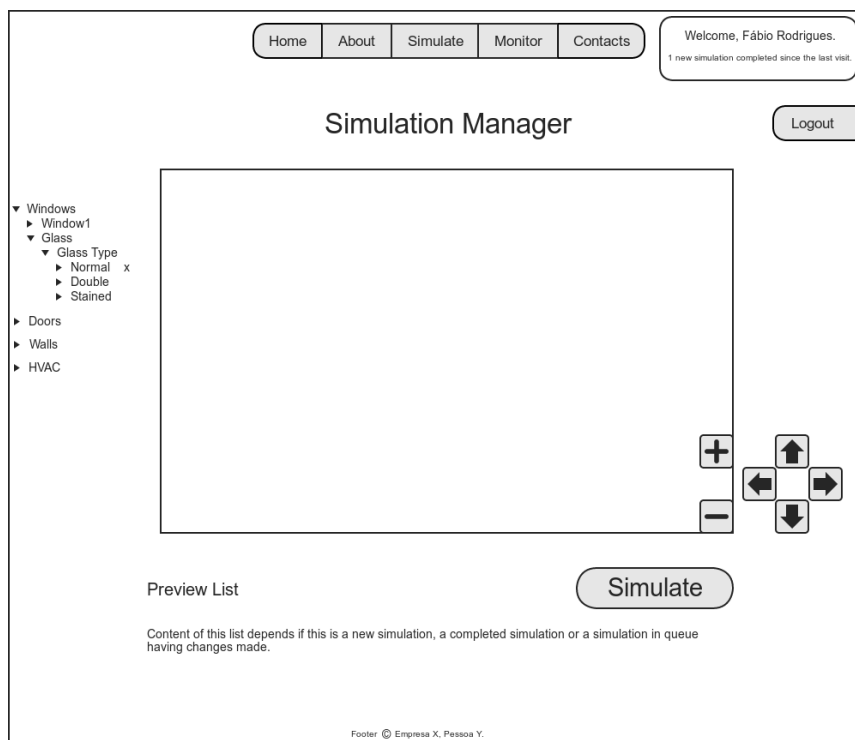


Figura 67: Interface da página simulation manager na primeira iteração do design da interface.

## Interfaces da Aplicação

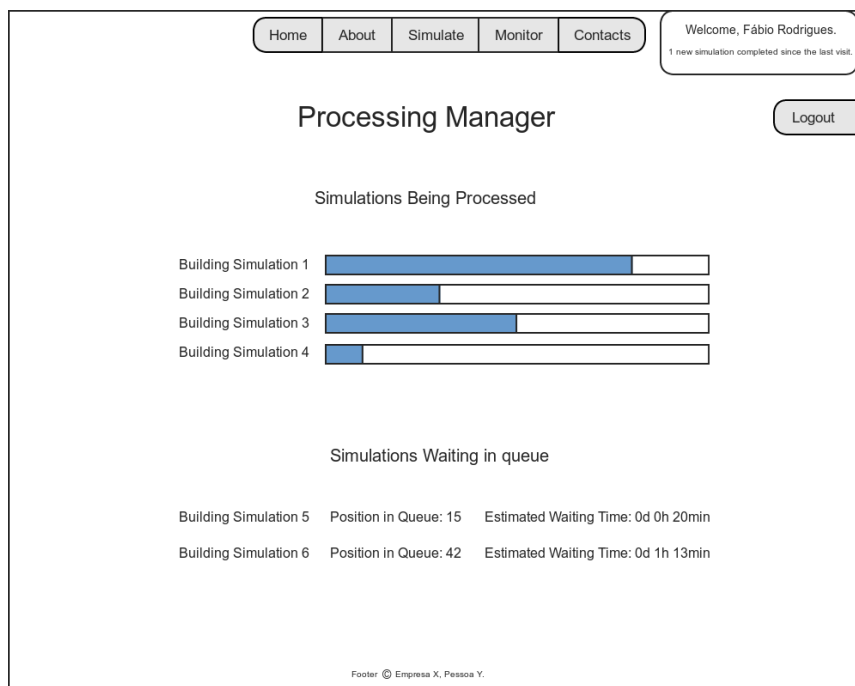


Figura 68: Interface da página simulations progress na primeira iteração do design da interface.

### 9.3 Descrição da Segunda Iteração do Design da Interface

Esta secção do anexo apresenta o protótipo funcional da interface desenvolvido recorrendo à ferramenta de prototipagem lumzy<sup>28</sup>. A segunda iteração apresenta a interface desenvolvida depois de identificada a necessidade de utilizar páginas adicionais para ver a lista de simulações completas e para mostrar a página de visualização de resultados. As páginas existentes anteriormente foram redesenhadas uma vez que se mudou de ferramenta de prototipagem, visto que o lumzy permite criar protótipos funcionais e interativos da interface partilháveis por url ao passo que o mockingbird apenas permite criar mockups. O protótipo interativo desta iteração encontra-se no url: <http://lumzy.com/access/?id=D6D4D75FB8BCF57625D497619124DE16>. Algumas das páginas, tais como páginas de contactos e de login, foram ignoradas por não apresentarem relevância.

<sup>28</sup> Url da Ferramenta: <http://lumzy.com/>

## Interfaces da Aplicação

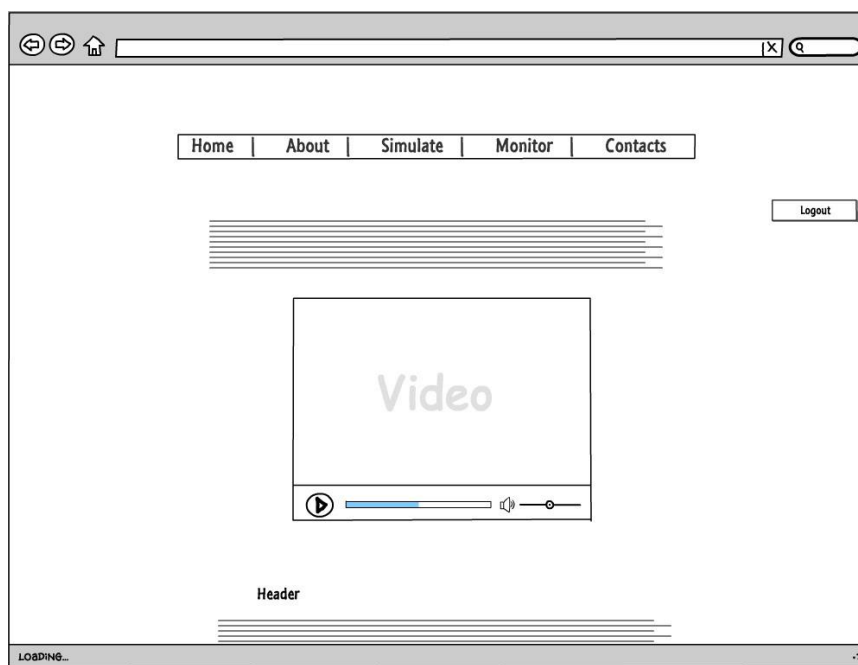


Figura 69: Interface da página home na segunda iteração do design da interface.

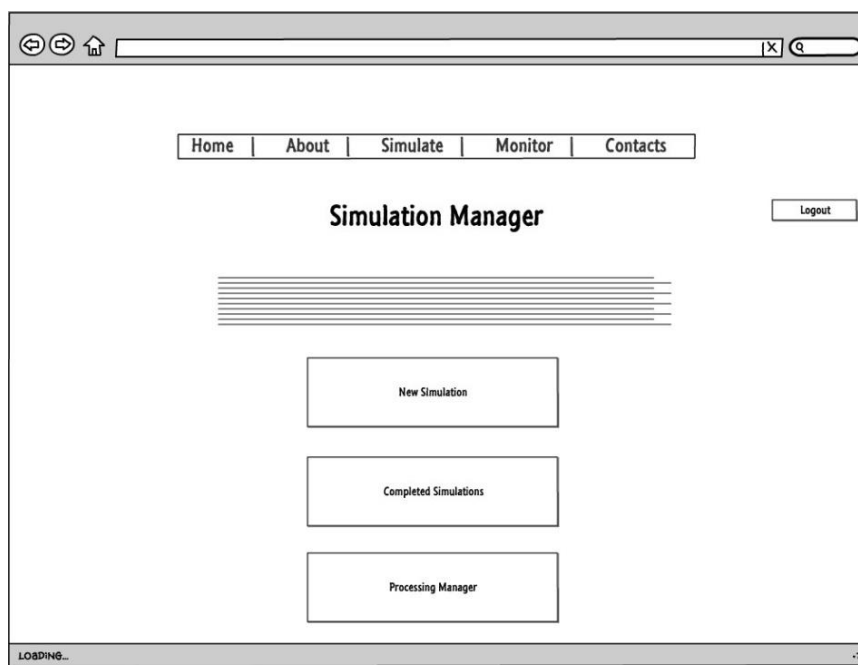


Figura 70: Interface da página simulation processing manager na segunda iteração do design da interface.

## Interfaces da Aplicação

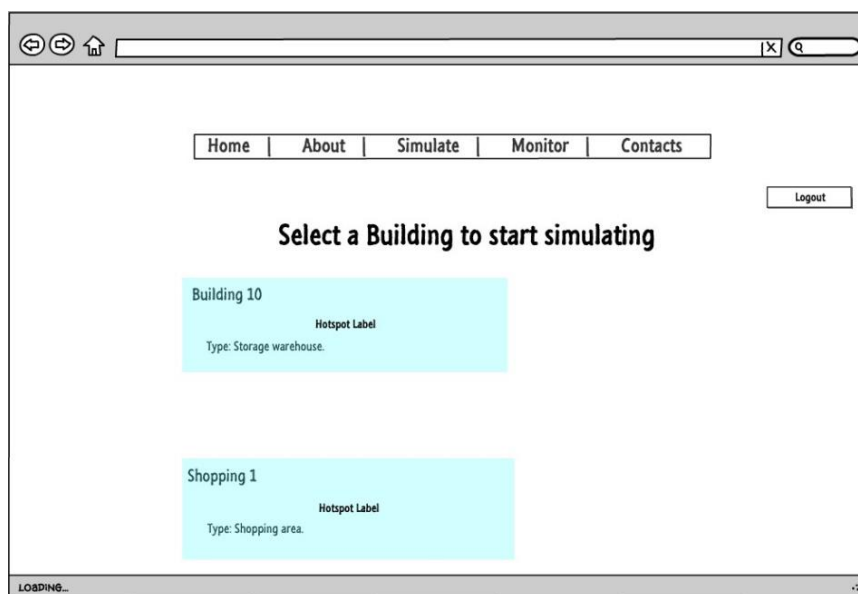


Figura 71: Interface da página building selection na segunda iteração do design da interface.

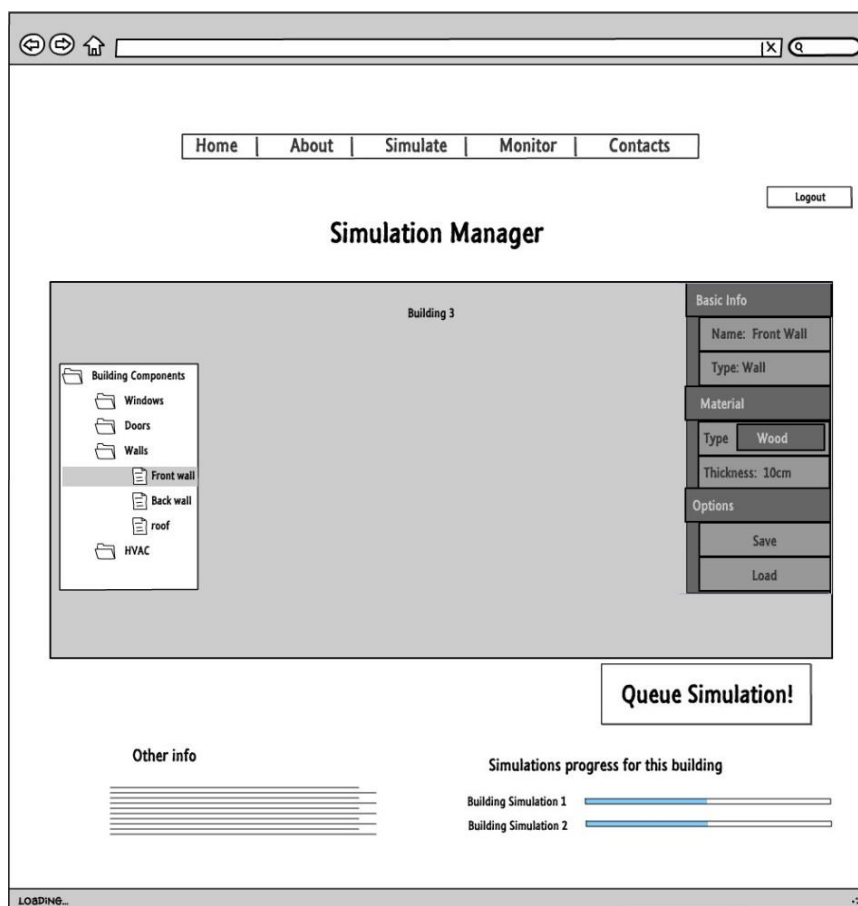


Figura 72: Interface da página simulation manager na segunda iteração do design da interface.

## Interfaces da Aplicação

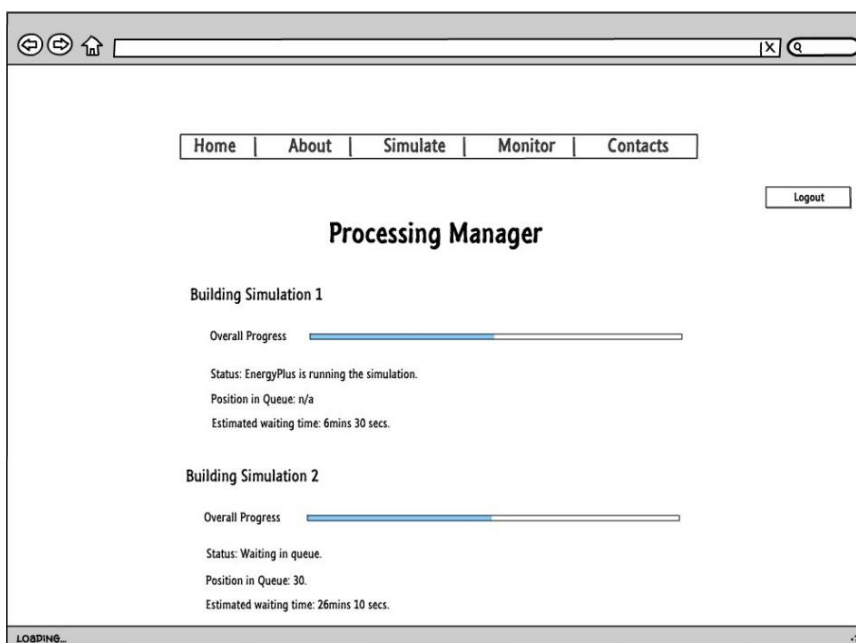


Figura 73: Interface da página simulations progress na segunda iteração do design da interface.

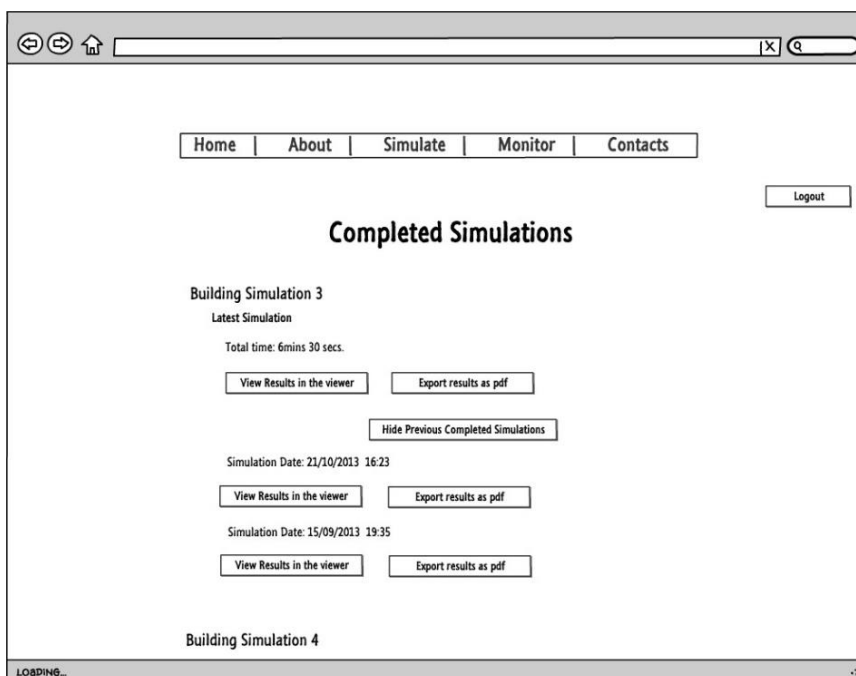


Figura 74: Interface da página completed simulations na segunda iteração do design da interface.

## Interfaces da Aplicação

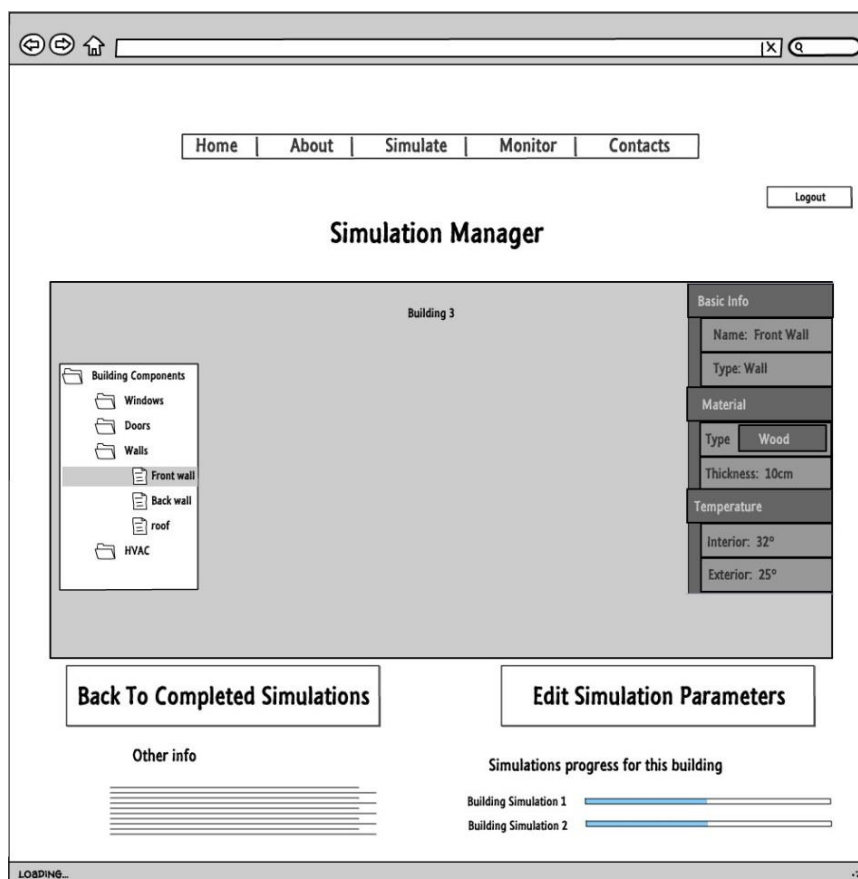


Figura 75: Interface da página result viewer na segunda iteração do design da interface.

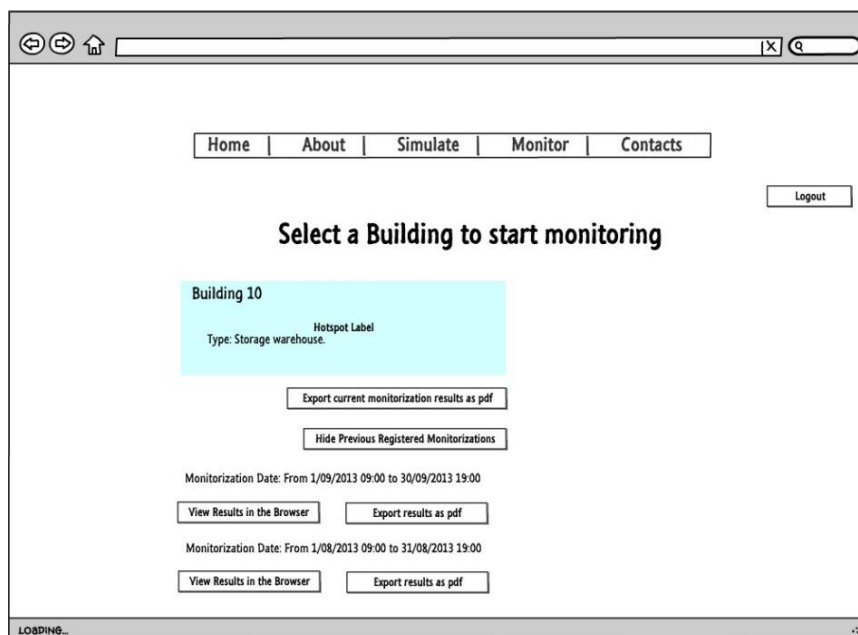


Figura 76: Interface da página desenhada para fazer a seleção de edifícios a monitorizar e a visualização de registos de monitorizações anteriores.

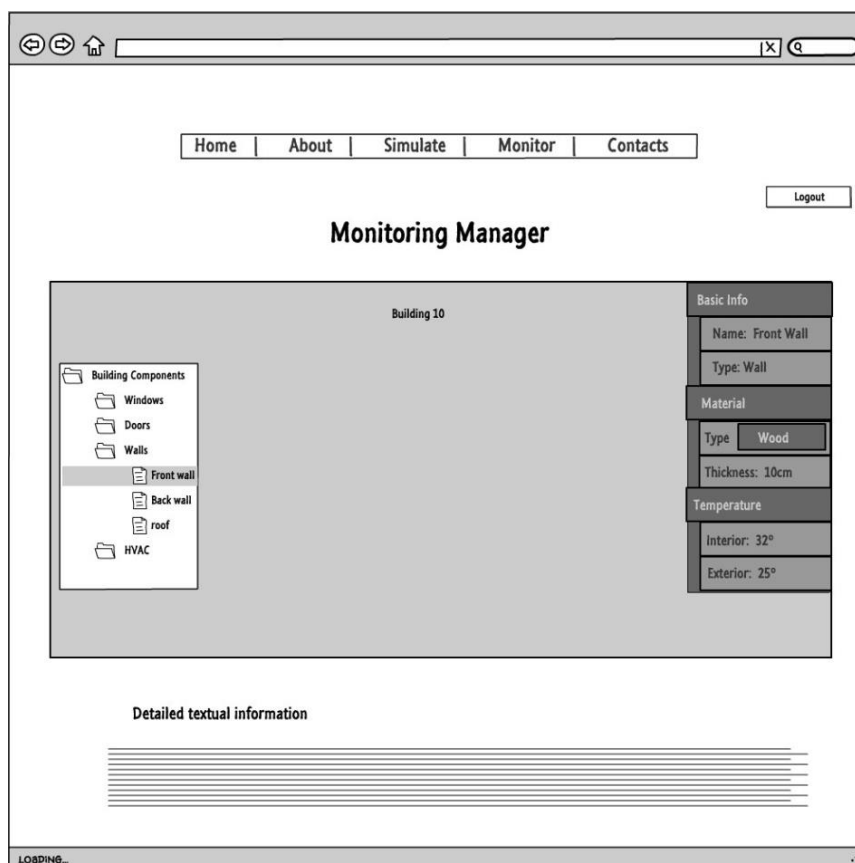


Figura 77: Interface da página desenhada para efetuar a monitorização de edifícios.

### 9.4 Descrição da Interface Implementada

Esta secção apresenta a interface de cada uma das páginas da aplicação web implementada utilizando um edifício real modelado e parametrizado na Smartwatt. A interface corresponde a uma simplificação da segunda iteração do design da interface.

## Interfaces da Aplicação

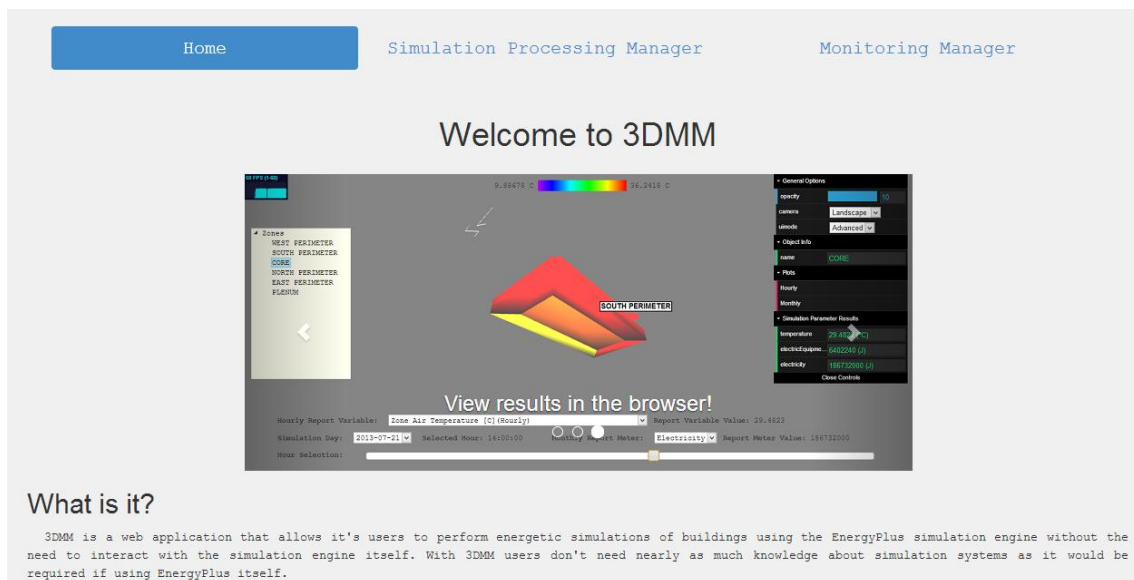


Figura 78: Interface da página home na aplicação web.

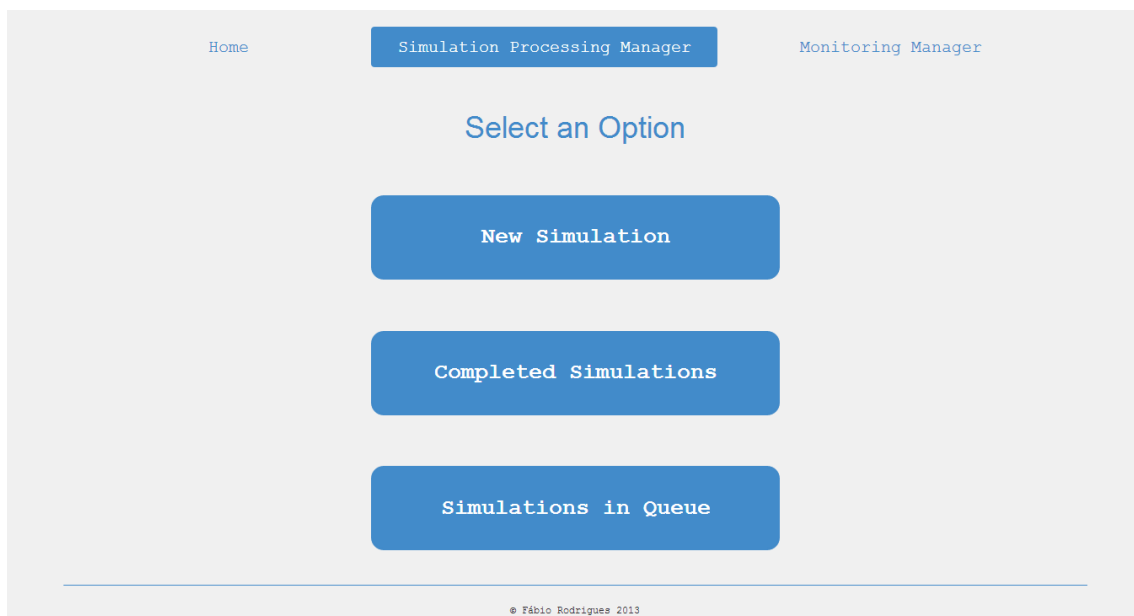
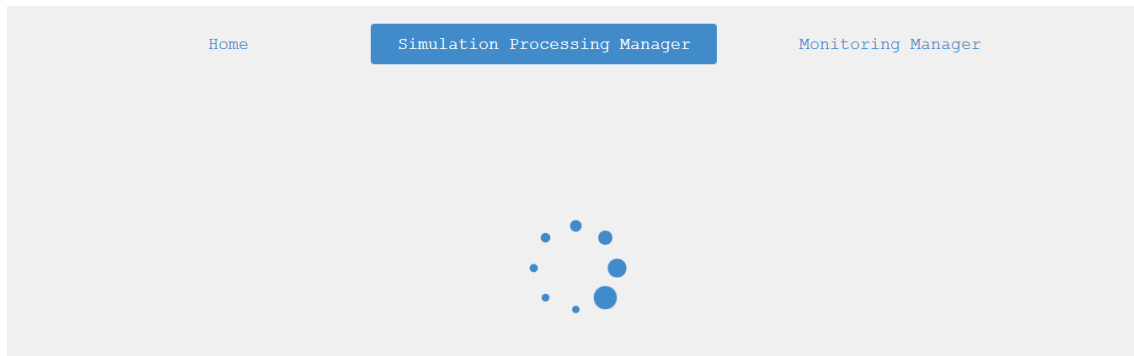


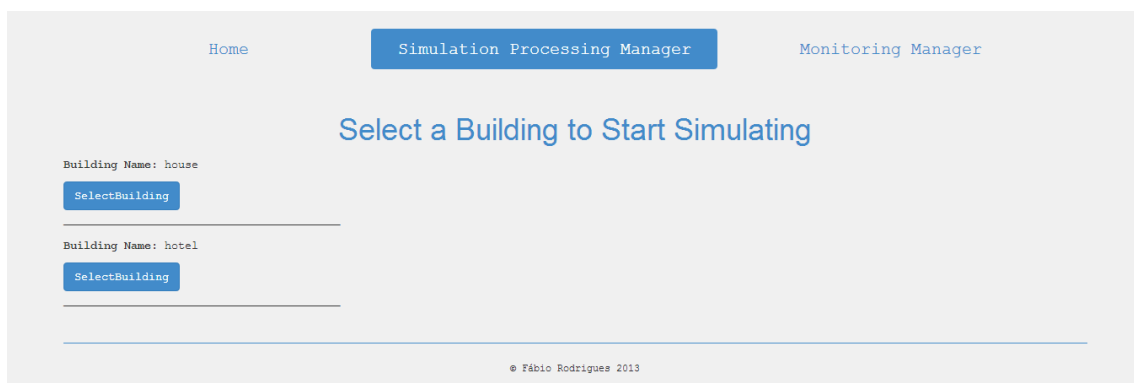
Figura 79: Interface da página simulation processing manager na aplicação web.



## Interfaces da Aplicação

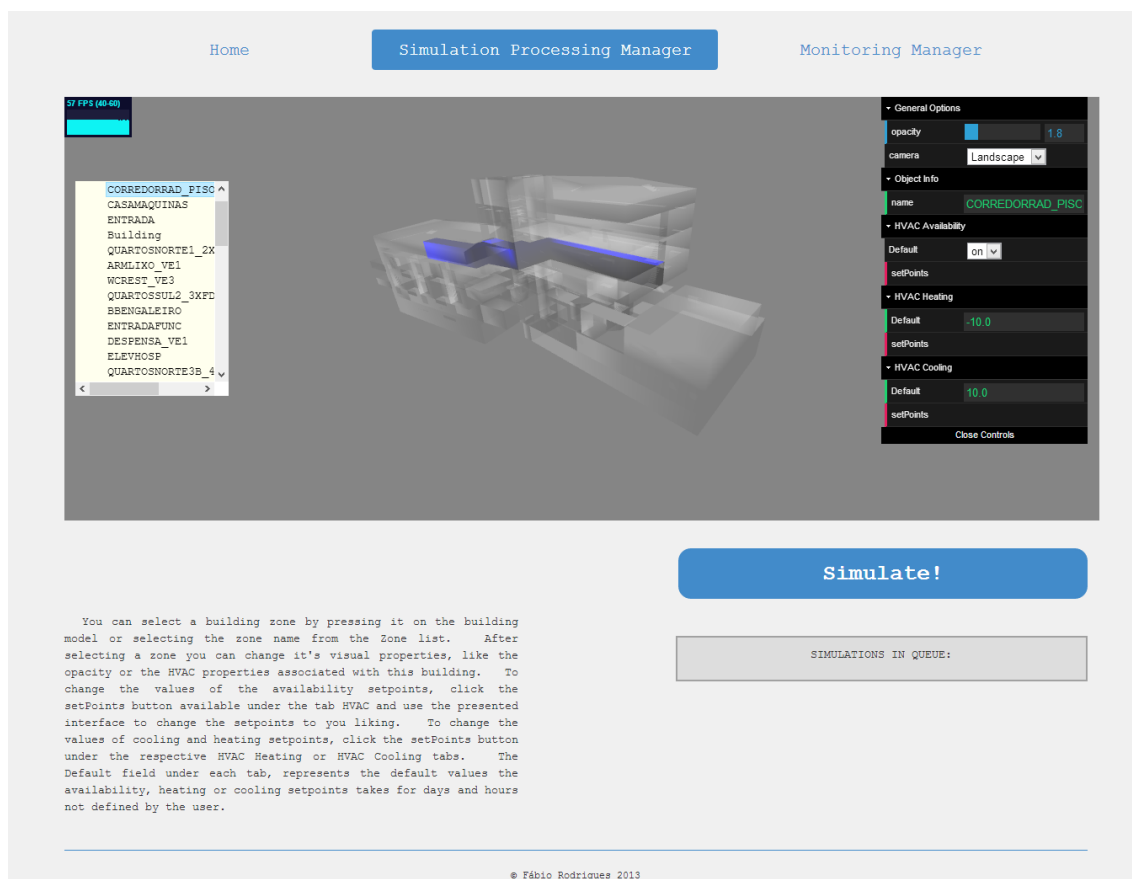


*Figura 80: Ecrã da animação de carregamento usada em várias páginas. A animação desaparece e mostra a página quando os pedidos ajax da página respetiva são finalizados.*



*Figura 81: Interface da página building selection na aplicação web.*

## Interfaces da Aplicação



*Figura 82: Interface da página simulation manager com o edifício real modelado pela Smartwatt. A opacidade do edifício foi alterada para permitir visualizar a área ocupada pelo corredor selecionado.*

## Interfaces da Aplicação

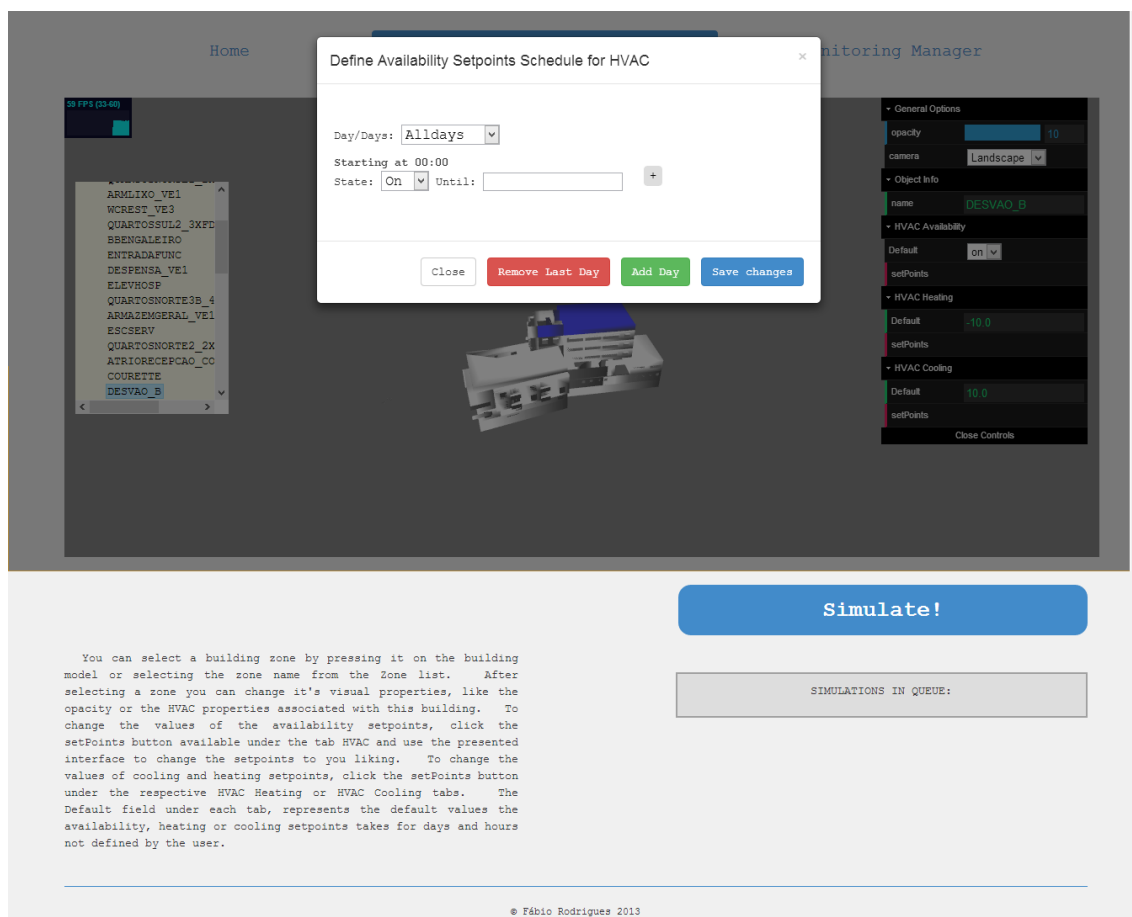
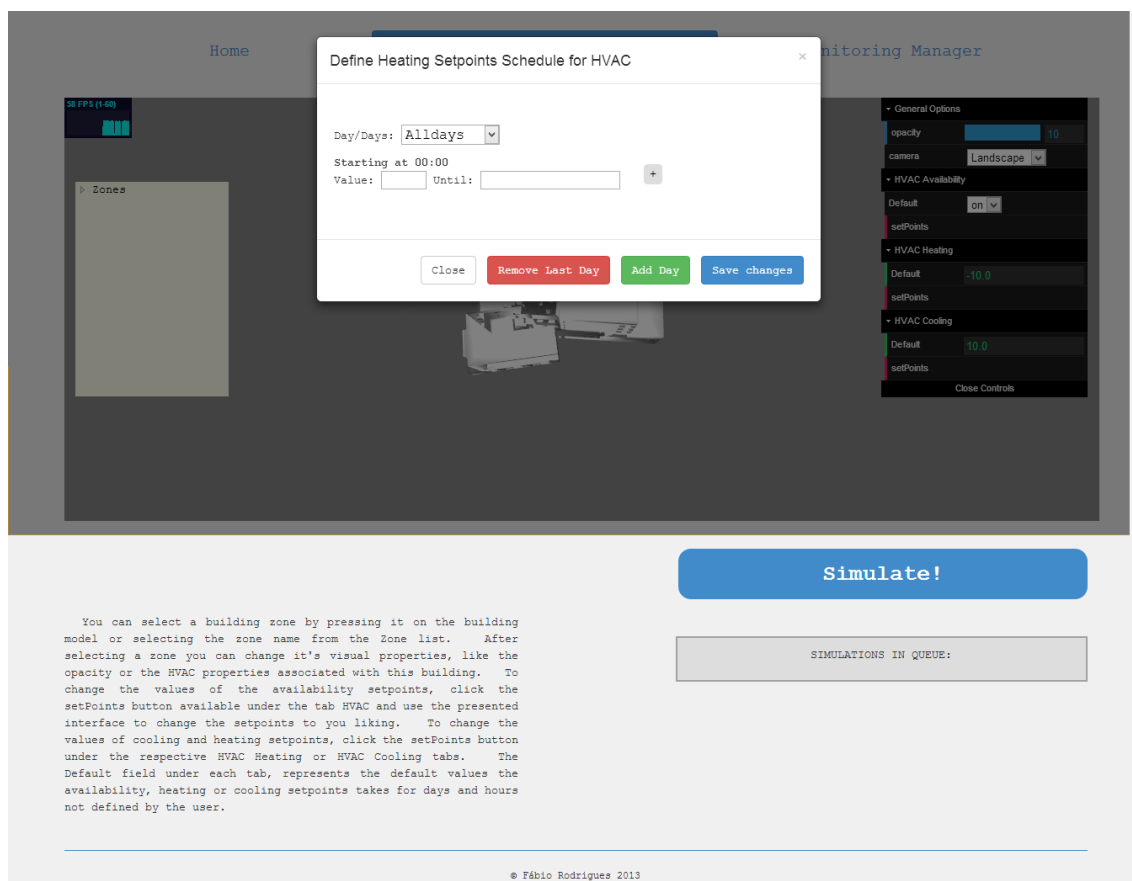


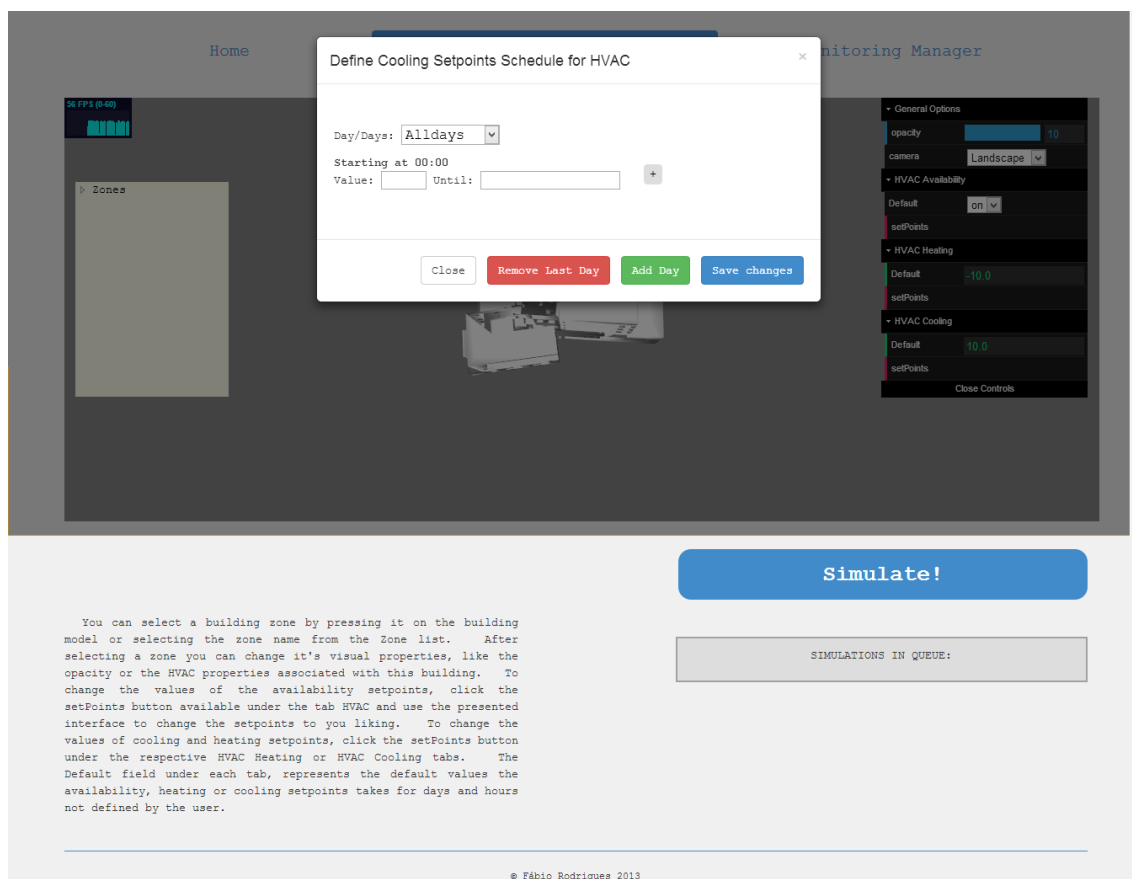
Figura 83: Interface inicial da janela modal de parametrização do horário de setpoints de disponibilidade do sistema de HVAC. Esta interface pode ser acedida clicando na opção “setpoints” da secção HVAC Availability na subinterface dat.GUI.

## Interfaces da Aplicação



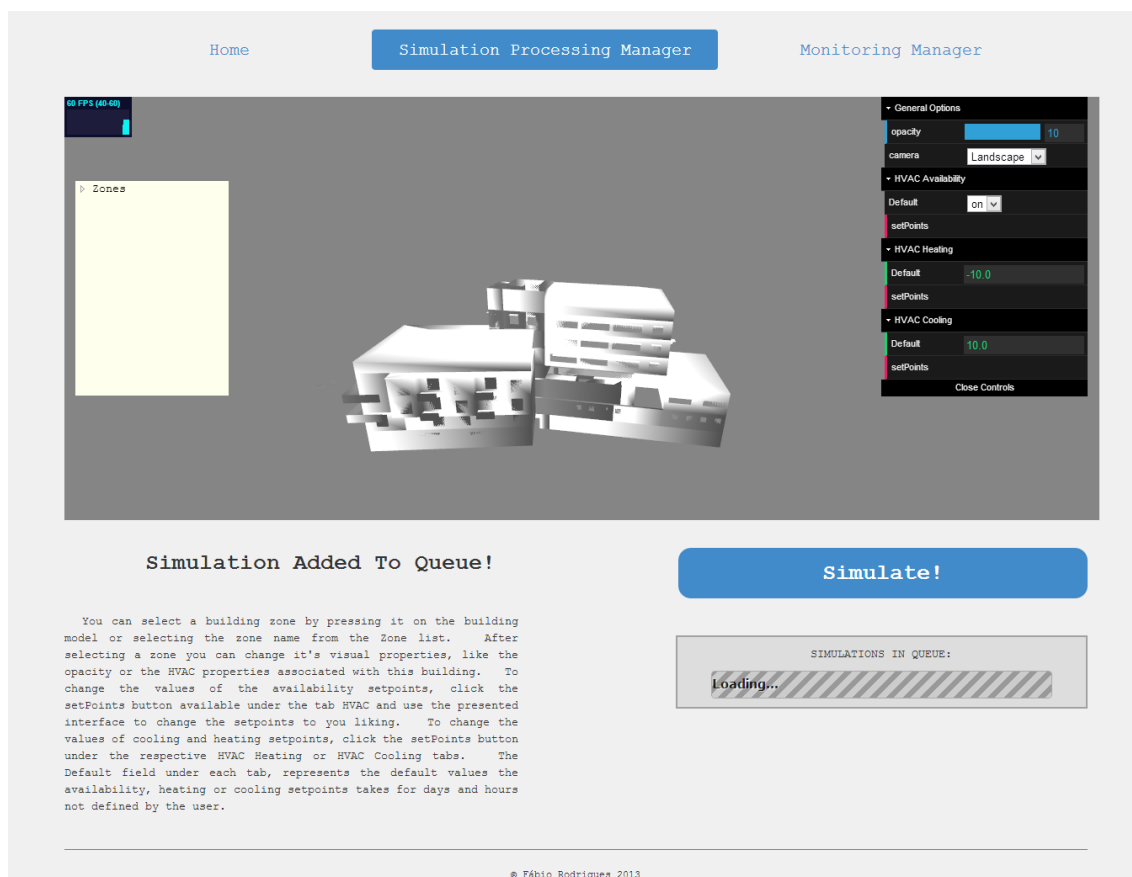
*Figura 84: Interface inicial da janela modal de parametrização do horário de setpoints de aquecimento do sistema de HVAC. Esta interface pode ser acedida clicando na opção “setpoints” da secção HVAC Heating na subinterface dat.GUI.*

## Interfaces da Aplicação



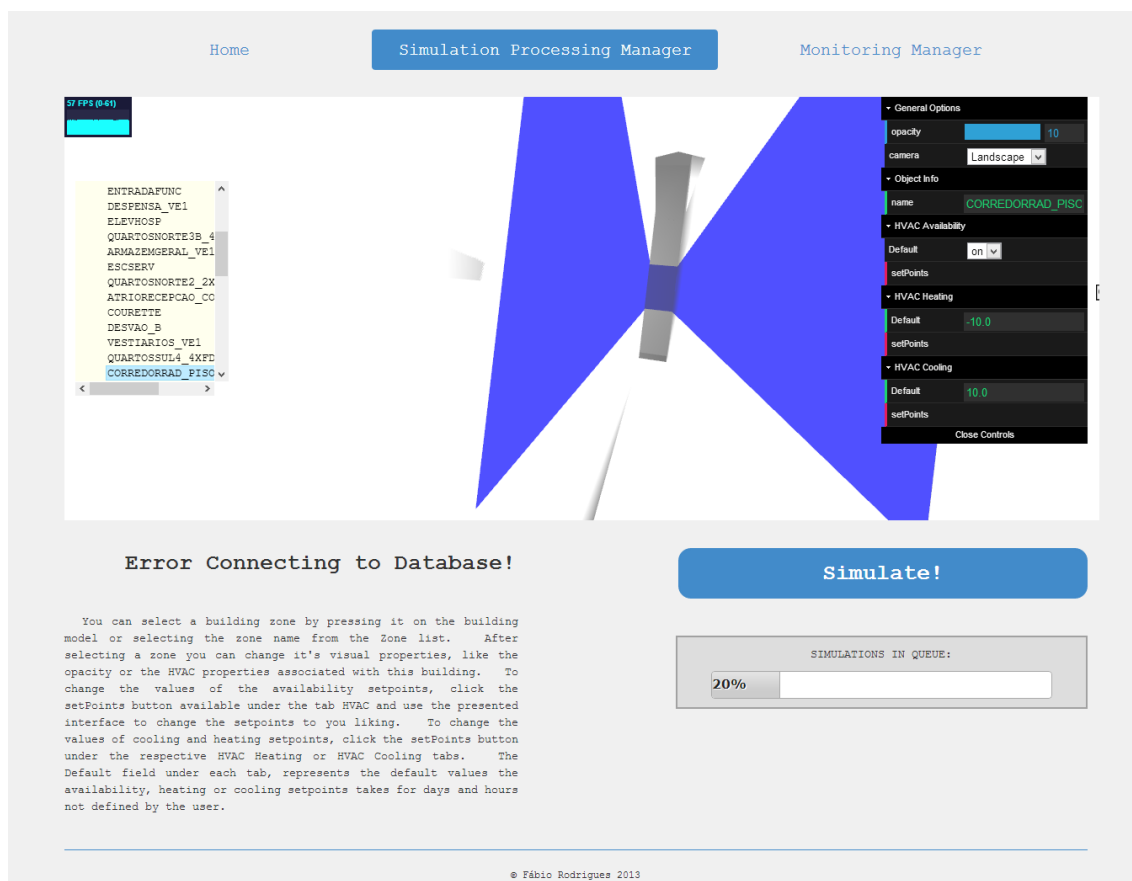
*Figura 85: Interface inicial da janela modal de parametrização do horário de setpoints de arrefecimento do sistema de HVAC. Esta interface pode ser acedida clicando na opção “setpoints” da secção HVAC Cooling na subinterface dat.GUI.*

## Interfaces da Aplicação



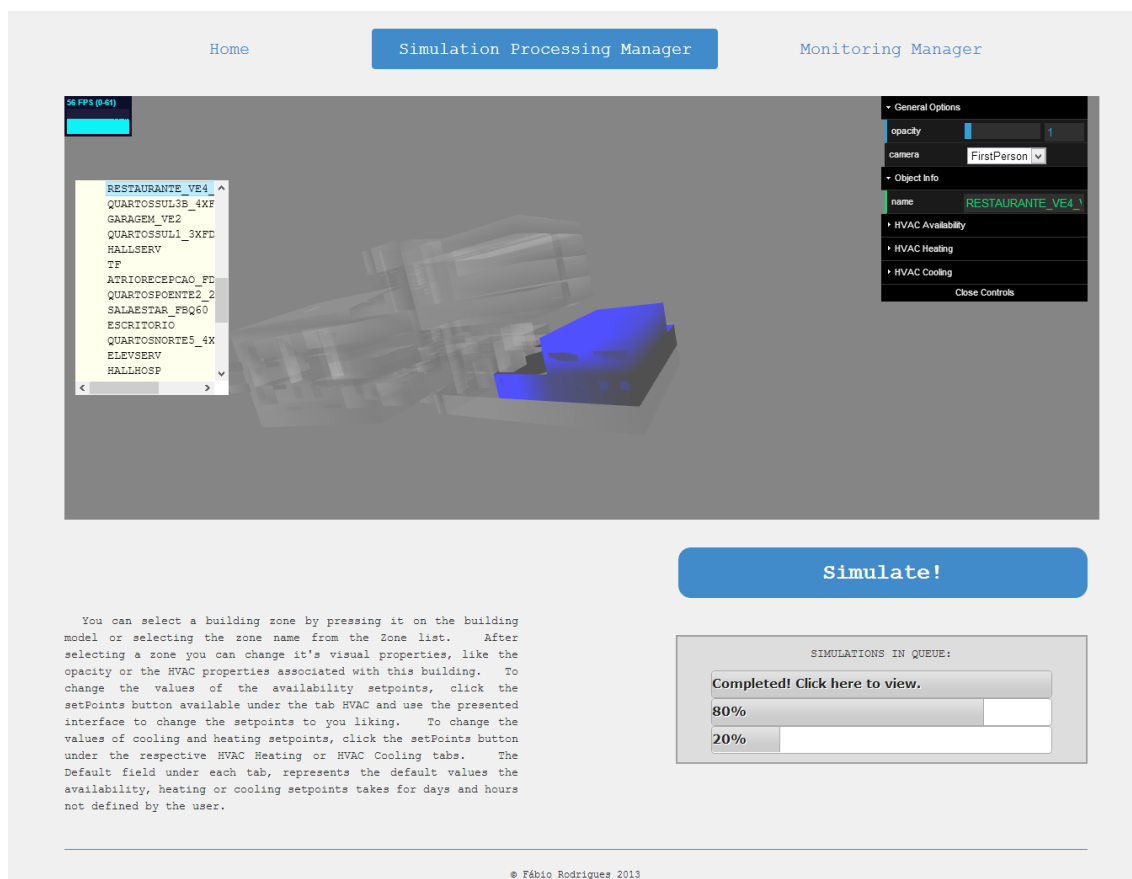
*Figura 86: Interface da página simulation manager quando um pedido é adicionado à base de dados com sucesso. Note-se a mensagem de sucesso que aparece no ecrã alguns segundos para informar o utilizador bem como o início do processo de criação da barra de progresso da simulação que acabou de ser adicionada à fila de pedidos de simulação.*

## Interfaces da Aplicação



*Figura 87: Interface da página simulation manager quando um pedido é adicionado à base de dados sem sucesso. A câmara encontra-se posicionada no interior do edifício o que permite visualizar um dos seus corredores interiores. Note-se a mensagem de erro que aparece no ecrã alguns segundos para informar o utilizador. É também possível ver o progresso da simulação adicionada anteriormente na barra de progresso.*

## Interfaces da Aplicação



*Figura 88: Interface da página simulation manager com 3 pedidos feitos na sessão atual. É possível observar através da visualização das barras de progressos que um dos pedidos já foi atendido estando os seus resultados prontos a ser visualizados, sendo que outros pedidos ainda estão a ser processados ou na fila de espera. Demonstra-se aqui também a funcionalidade da sub interface dat.GUI que permite recolher as tabs de opções que o utilizador não pretende visualizar.*



## Interfaces da Aplicação

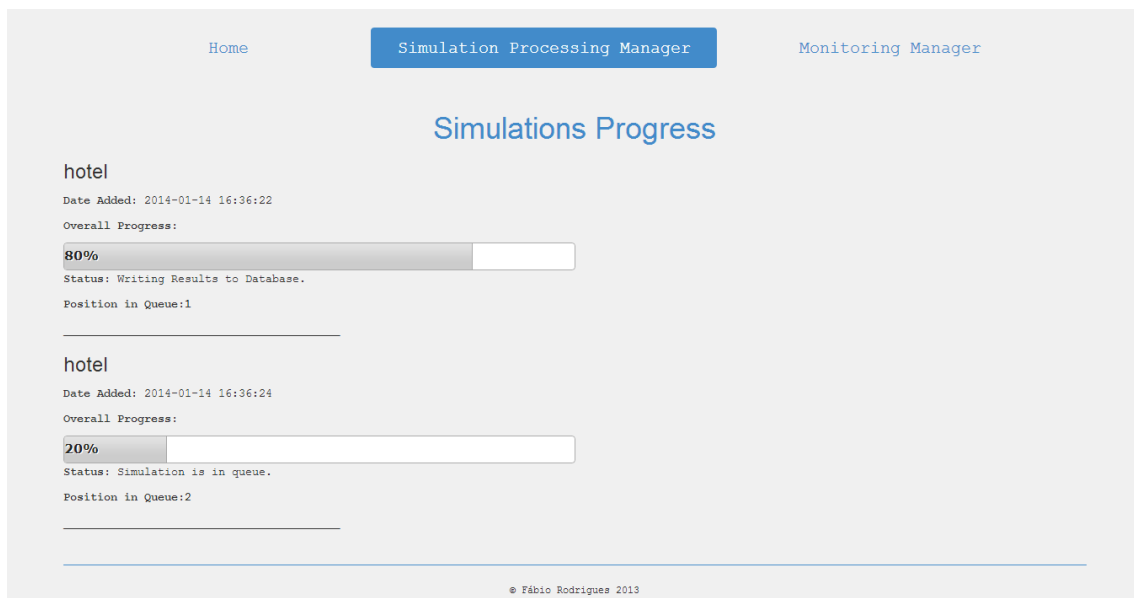


Figura 89: Interface da página *simulations progress*. Neste caso específico são representados os mesmos estados das simulações apresentados na Figura 88. Note-se que os pedidos completos não aparecem nesta página. Se um pedido de simulação for concluído enquanto a página está aberta, é possível aceder aos seus resultados a partir desta página, mas se a página for reaberta ou atualizada pelo utilizador, tal deixa de ser possível.

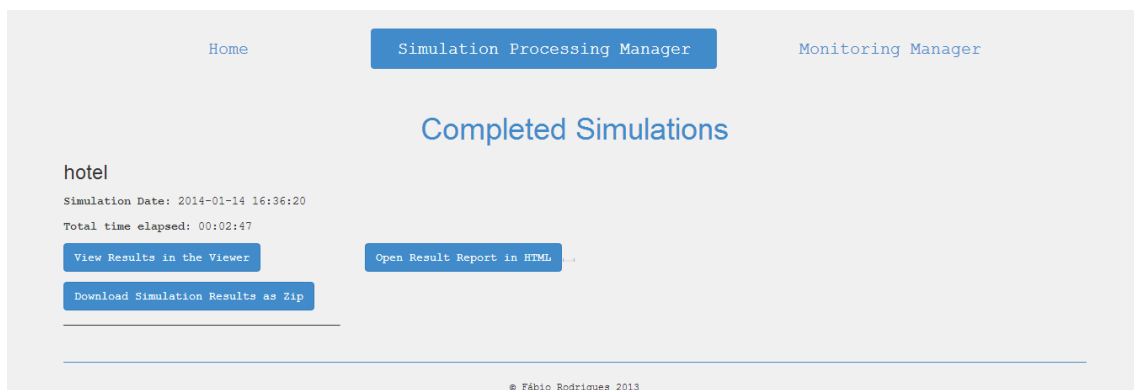


Figura 90: Interface da página *completed simulations* da aplicação web. Este caso concreto corresponde ao mesmo pedido completo presente na Figura 88.

## Interfaces da Aplicação

Program Version: EnergyPlus-Windows-64 8.0.0.008, YMD=2014.01.14 16:37

[Table of Contents](#)

Tabular Output Report in Format: HTML

Building: Hotel Anjo

Environment: SEASON \*\* Vila Nova de Ourem PRT WMO#=085360

Simulation Timestamp: 2014-01-14 16:38:49

Report: Annual Building Utility Performance Summary

[Table of Contents](#)

For: Entire Facility

Timestamp: 2014-01-14 16:38:49

Values gathered over 0.00 hours

WARNING: THE REPORT DOES NOT REPRESENT A FULL ANNUAL SIMULATION.

### Site and Source Energy

	Total Energy [GJ]	Energy Per Total Building Area [MJ/m2]	Energy Per Conditioned Building Area [MJ/m2]
Total Site Energy	0.00	0.00	0.00
Net Site Energy	0.00	0.00	0.00
Total Source Energy	0.00	0.00	0.00

Figura 91: Parte inicial de um relatório da simulação energética em formato html visto no browser. Este caso em particular corresponde ao relatório gerado para a simulação completa apresentada na Figura 90 obtido após clicar no botão “Open Result Report in Html”.

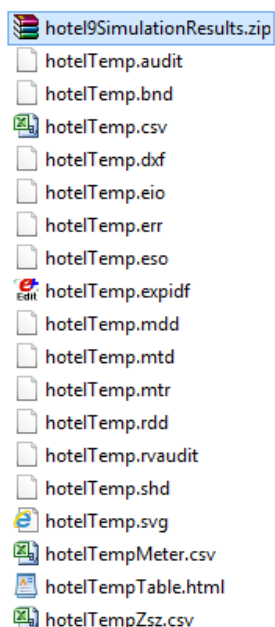


Figura 92: Conteúdo da pasta zip com os ficheiros resultantes da simulação. Este caso em concreto corresponde aos ficheiros de resultados da simulação devolvidos pelo EnergyPlus para a simulação completa apresentada na Figura 90, obtido após clicar no botão “Download Simulation Results as Zip”. O ficheiro zip obtido através de download encontra-se assinalado com fundo a azul e todos os ficheiros nele contidos encontram-se por baixo deste. De notar que grande parte das ferramentas de simulação energética remota apenas engloba esta mesma funcionalidade de criar um ficheiro zip com os resultados de simulações.

## Interfaces da Aplicação



Figura 93: Interface da página de visualização de resultados em modo advanced. Este caso em concreto corresponde à simulação completa da Figura 90.

## Interfaces da Aplicação



Figura 94: Interface da página de visualização de resultados em modo simple. Este caso em concreto corresponde à mesma simulação da Figura 93.

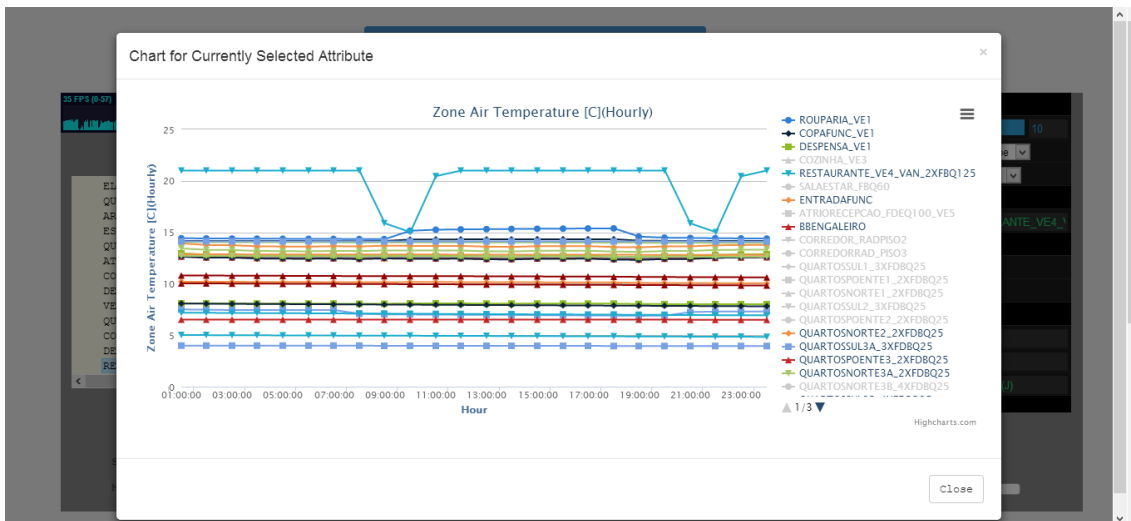


Figura 95: Interface do gráfico de linhas gerado para a variável de relatório e restantes parâmetros selecionados na Figura 93 quando utilizador clica na opção “Hourly” da secção “Plots”. Neste caso foram retirados dos resultados alguns dos dados clicando sobre os respetivos elementos na legenda do gráfico.

## Interfaces da Aplicação



Figura 96: Gráfico de barras gerado para a variável de relatório de contagem mensal e restantes parâmetros seleccionados na Figura 93 ao longo do ano quando o utilizador clica na opção “Monthly” da secção “Plots”. Apenas são apresentados dados para dois meses uma vez que a simulação só foi feita para um dia de inverno em janeiro e um dia no verão em julho. Apresentam-se apenas os dados relativos aos quartos da zona norte e demonstra-se também a funcionalidade adicional de guardar o gráfico gerado em diferentes formatos.